



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



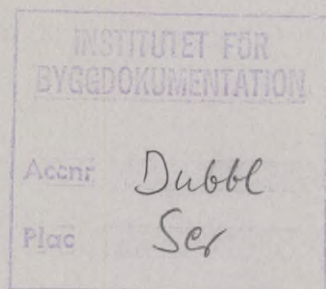
Rapport

R24:1992

Stockholmsprojektet, kv Bodbetjanten

Kontor, bostäder och glasgårdar i energiteknisk samverkan

Per Wickman



BYGGDOK

Sankt Eriksgatan 46
112 34 Stockholm
tel: 08-617 74 50
fax: 08-617 74 60

Byggforskningsrådet

R24:1992

STOCKHOLMSPROJEKTET

Kv BODBETJÄNTEN

Kontor, bostäder och glasgårdar
i energiteknisk samverkan

Per Wickman

Denna rapport hänförs sig till forskningsanslag 910341-9
från Byggeforskningsrådet till AIB Installationskonsult AB,
Solna.

REFERAT

Kv Bodbetjanten består av en kontors- och bostadsdel kringbyggda runt en glasgård. Olika nya energitekniska lösningar har utvärderats.

Det är främst glasgårdens funktion som klimatbuffert och förmågan att nyttiggöra överskottsvärme från kontoren som har studerats. Behovet av köpt energi beräknades kunna minskas väsentligt p g a detta.

Resultaten från utvärderingen visar att byggnaden fungerat bra drifttekniskt, trots ett installationstätt system. Däremot har olika lösningar delvis konkurrerat vilket resulterat i högre energianvändning än beräknat. Totalt är dock behovet av köpt energi lågt, ca 140 kWh/m² för bostäder och 110 kWh/m² för kontoren. Den främsta orsaken till detta är återvinning ur frånluften via värmepump och glasgårdens buffertfunktion.

I Bygghörsningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R24:1992

ISBN 91-540-5464-8
Bygghörsningsrådet, Stockholm

gotab 95814, Stockholm 1992

INNEHÅLL

	SAMMANFATTNING.....	1
1	INLEDNING.....	4
1.1	Bakgrund.....	4
1.2	Syfte med utvärderingen.....	5
1.3	Byggnads- och anläggningsbeskrivning.....	5
1.3.1	Byggnadsteknik.....	7
1.3.2	Glasgårdens konstruktion.....	8
1.3.3	Installationsteknik.....	8
1.3.4	Areor.....	9
2	HYPOTES.....	10
2.1	Två idéer.....	10
2.2	Simulering.....	10
2.3	Kombieffekt.....	11
2.4	Glasgården.....	12
2.4.1	Transmissionsvärme till gården.....	13
2.4.2	Värme i kontorsluften som tillförs gården....	13
2.4.3	Solvärme till gården.....	13
2.4.4	Belysningsvärme till gården.....	13
2.4.5	Värme från undercentral och fläktrum.....	14
2.4.6	Minskad transmissionvärme och läckage tack vare gården.....	14
2.5	Experimentåtgärdernas totala energibidrag....	14
3	METODIK.....	17
3.1	Mätningar.....	17
3.1.1	Mätteknik.....	18
3.1.2	Kontroll och efterbehandling av mätdata.....	19
3.1.3	Felanalys.....	20
3.2	Utvärderingmetoder.....	20
3.2.1	Energianvändning.....	20
3.2.2	Köpt energi.....	21
3.2.3	Kombieffekt.....	22
3.2.4	Glasgården.....	22
4	ENERGIANVÄNDNING.....	23
4.1	Tillförd och använd energi.....	24
4.2	Tillförd energi.....	24
4.2.1	El till pannan.....	26
4.2.2	El till värmepumpen.....	26
4.2.3	Kontorsel.....	28
4.2.4	Hushållsel.....	28
4.2.5	Fastighetsel.....	29
4.2.6	Fastighetsel, Fläktar.....	29
4.2.7	Fastighetsel, övrigt.....	30
4.2.8	Elvärme, Kallrasskydd.....	32

4.2.9	Tillförd vätskeburen värme.....	32
4.2.10	Tappvarmvatten.....	33
4.2.11	Effekter.....	35
4.3	Värmetransport inom byggnaden.....	36
4.3.1	Energi via värmepumpen.....	37
4.3.2	Energi till och från glasgården.....	38
4.3.3	Värmeöverföring via hålbjälklagen.....	43
4.4	Bortförd energi.....	43
5	KÖPT ENERGI.....	46
5.1	Totalt köpt energi.....	46
5.2	Fördelning av köpt energi till kontor och bostäder.....	48
5.2.1	Elpanna och värmepump.....	49
5.2.2	Fläktel till kontoren och bostäderna.....	49
5.2.3	Övrig fastghetsel.....	50
5.3	Köpt energi till kontoren.....	50
5.4	Köpt energi till bostäderna.....	51
5.5	Effekter.....	52
5.6	Feluppskattning.....	54
5.7	Graddagskorrigering.....	55
6	KOMBIEFFEKT.....	56
6.1	Kombieffekt via hålbjälklagen.....	58
6.2	Kombieffekt via glasgården.....	61
6.3	Resultat.....	63
7	GLASGÅRDEN.....	64
7.1	Utformning och funktion.....	64
7.2	Driftfall och systembeskrivning.....	65
7.2.1	Luftbehandling.....	66
7.3	Utvärdering av återvinnings- och buffert funktionen.....	68
7.4	Energiflöden.....	71
7.4.1	Solenergi till gården.....	72
7.4.2	Transmissionsvärme till gården från bostäderna och kontoren.....	76
7.4.3	Värme från undercentralen.....	77
7.4.4	Värme från kontoren.....	77
7.4.5	Belysning i glasgården.....	78
7.4.6	Värme från fläktar.....	78
7.4.7	Utvinning av värme från gården.....	79
7.4.8	Övriga energiflöden.....	79
7.5	Temperaturförhållanden i gården.....	79
7.5.1	Sommarfall.....	79
7.5.2	Vinterfall.....	81
8	DISKUSSION OCH SLUTSATSER.....	82
8.1	Kombieffekt, överförd överskottsvärme.....	82
8.1.1	Hålbjälklag.....	82
8.1.2	Kylning av tilluft till kontoren.....	83

8.1.3	Gården.....	83
8.2	Köpt energi.....	87
8.2.1	Kontoren.....	87
8.2.2	Bostäderna.....	87
8.3	Jämförelse med förhandsberäkningar.....	88
8.3.1	Areor.....	89
8.3.2	Värme.....	89
8.3.3	Fastighets- och hushållsel.....	90
8.3.4	Effekter.....	91
8.4	Experimentåtgårdernas totala energibidrag.....	91
8.5	Idrifttagning.....	93

REFERENSER.....	94
------------------------	-----------

BILAGA 1	Energiflödesdiagram
-----------------	----------------------------

BILAGA 2	Spårgasmätning
-----------------	-----------------------

FÖRORD

Flera intressanta idéer har förverkligats i kvarteret Bodbetjänten. Denna rapport är en redovisning av hur de energitekniska experimenten har fungerat. Arbetet bygger på flera års mät- och utvärderingsresultat.

Efter att ha arbetat praktiskt med olika typer av anläggningar har det varit spännande att mer ingående studera nya tekniska lösningar. Arbetet tillsammans med en engagerad och kunnig grupp människor har gett mig många värdefulla erfarenheter.

Då jag började mitt arbete på Tekniska Högskolan i Stockholm 1986 hade de första mätresultaten från Bodbetjänten börjat strömma in. Vi visste inte då hur mycket möda som återstod för att värdera mätresultaten innan själva utvärderingsarbetet kunde påbörjas.

Förväntningarna på projektet har varit höga och också uppfyllts i många avseenden. Då ett decenium snart gått sedan arbetet påbörjades har mycket hunnit utvecklas inom installationstekniken och villkoren förändrats. Jag hoppas att detta arbete har varit en del i denna utveckling och att resultaten kommer att vara till nytta även i framtiden.

Rapporten som du nu har i din hand ska helst inte läsas från pärm till pärm på en gång då den innehåller mycket information. Det är min förhoppning att du kan hitta det som är värdefullt för dig.

Stockholm den 20:e december 1991

Per Wickman

ABSTRACT

In the Bodbetjanten development, a system is being tested whereby surplus heat from offices can be used to heat residential parts of the same block and also to heat hot water.

An orientation of the building with residential apartments facing south and offices facing north means that solar heating will benefit the residential section in the first instance. Moreover, there will be less need for cooling in the office section.

A large glazed courtyard, or atrium, that borders towards the south and towards the residential section serves as a passive solar collector. Vertical glass surfaces enable heat from the sun to benefit the building during times when the sun is low.

Despite the technical preconditions for transport of heat, the actual transmission of heat within the building has been limited. There are two main reasons for this. For one thing the need of cooling, i.e. available surplus heat, has been less than anticipated in the calculations, and for another the differences in temperature between different parts of the building have often been too small for transport of the designed amounts of heat.

The location of the offices, north of the residential section and with windows largely facing north, has resulted in a substantial decrease in the need for cooling. The location of the offices in a northern aspect, and the possibility of "night cooling" has reduced the amount of available surplus heat that could have been supplied to the dwellings or the atrium.

In simulation calculations, the need of total purchased energy has been estimated at approx. 81 kWh/m² total heated area. During 1987 electrical energy equivalent to 129 kWh/m² (BRA) and year was purchased.

The total amount of purchased energy for both residential apartments and offices is nevertheless small in comparison with the averages for equivalent Swedish building production during the 1980s. The main reasons for this are the contribution from the heat pump, effective commissioning and the buffer function of the glazed atrium.

SAMMANFATTNING

1982 anvisade Stockholms stad mark för byggande av experimenthus med låg energianvändning. Sex byggherreföretag påbörjade genomförandet av Stockholmsprojektet i samverkan med Stockholms stad, Kungl. Tekniska Högskolan (KTH) genom projektgruppen för energihushållning i byggnader (EHUB) och Byggforskningsrådet (BFR). En av de byggnader som uppfördes var en kombinerad bostads- och kontorsbyggnad i kvarteret Bodbetjanten i Gubbängen söder om Stockholm.

Syftet med denna utvärdering är att med hjälp av mätningar beräkna hur energin används i byggnaden. Resultatet ska utgöra underlag för värdering av de energitekniska experimenten.

Kv Bodbetjanten består av ett bostadshus med loftgångar som är sammanbyggt med ett kontorshus. Loftgångarna ligger kring en glasad gård. Byggnaden är orienterad så att kontorsrummen är vända mot norr och bostäderna mot söder, öster och väster.

Det är främst två idéer som ingår i själva energiexperimentet, dels glasgårdens funktion som klimatbuffert och solfångare dels en sk "kombieffekt". Kombieffekt innebär möjligheten att utnyttja överskottsvärme i kontorsdelen till att värma bostadsdelen. Båda lösningarna avser att reducera behovet av köpt energi.

Kontoren förväntas under en del av årets uppvärmningsperiod få så mycket överskottsvärme från belysning, kontorsmaskiner och personer att kylbehov uppstår. Tanken är att på ett enkelt sätt överföra denna värme till bostäderna och därmed kyla kontoren.

Glasgården ska, förutom med värme från kontoren, värmas av angränsande varma ytor, solvärme och belysning. Denna värme ska delvis tillvaratas via anläggningens värmepump. Energitillskotten ska också värma gården till "medelhavsklimat", dvs med en jämn mild temperatur året om. Gården kommer att ha en utjämnande inverkan på temperaturerna i byggnadens olika delar och genom sin buffertfunktion reducera transmissionsförlusterna.

Sammanlagt beräknas dessa bidrag minska energibehovet med ca 30%.

Resultat

Kontorens placering, norr om bostäderna och med fönster huvudsakligen mot norr, har reducerat kylbehovet väsentligt. Inverkan är svår att kvantifiera, men låga uppmätta kyleffekter tyder på att norrläget haft mycket stor betydelse.

Kontorens placering i norrläge samt möjligheten till "nattkyla" har därmed reducerat den tillgängliga överskottsvärmen som skulle kunnat tillföras bostäderna eller glasgården. Under den första delen av mätperioden användes inte heller hela kontoret.

När överskottsvärme funnits har möjligheterna till överföring begränsats av oväntat höga temperaturnivåer i bostäderna och glasgården, samt små och endast tillfälliga temperaturdifferenser mellan kontoren och bostäderna. Endast kortvarigt har bostädernas temperatur varit lägre än kontorens.

Gårdens bidrag till energisystemet, förutom tillgången till ett uppvärmt gemensamhetsutrymme, utgörs av återvinning av tillförd värme med hjälp av värmepumpen, minskade transmissionsförluster från bostäderna och kontoren samt gårdens funktion som kylare för kontoren.

Förutom den energi som direkt kan utvinnas från gården minskas också transmissionsförlusterna från byggnaden tack vare gården.

Glasgårdens funktion som solfångare har påverkats av att gården uppvärmts mer än beräknat. Förmågan att nyttigöra solenergi i gården står i förhållande till skillnader i temperaturer i gården och ute.

Gården värms delvis av köpt energi och värdet av gården måste ställas mot kostnaderna för uppvärmning och investering. Trots att gården inte enbart värms med gratis eller återvunnen energi, är kanske ändå tillgången till en uppvärmd gård under vintern värdefull i sig.

Att gården tillförs köpt energi beror bl.a. på begränsade ljusinsläpp som måste kompenseras med konventionell belysning och växtbelysning, även under stor del av dagen. Arbetet i form av fläktel för transport av energi till- och från gården är också avsevärt.

Sammantaget kan sägas att det totala bidraget av experimentåtgärderna, som nyttigjorts med hjälp av kombieffekten, glasgården och minskade transmissionsförluster reducerar behovet av köpt energi med ca 10%.

Olika tekniska lösningar har delvis konkurrerat i Kv Bodbetjänten. Kontoren kan kylas på flera sätt, där överföring av överskottsvärme till bostäderna inte har prioriterats. Kylbehovet har i första hand reducerats via kontorens norrläge och nattkyla via termodecksystemet.

Att gården har värmts mer än beräknat beror på oväntat hög värmeförlust från bla fläktar och belysning, vilket reducerat gårdens funktion som "kylare för kontoret" och som "solfångare".

Det minskade kylbehovet pga kontorens placering är i sig en kombieffekt om än inte så spännande för en VVS-tekniker. Det är dock intressant att denna enkla åtgärd för att minska kylbehovet i kontoren, speciellt sommartid, är effektiv.

Den totala mängden av köpt energi, ca $140 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ (BRA) till bostäderna och ca $110 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ (BRA) till kontoren, utan hänsyn till gårdsytan, är dock relativt liten. Den främsta orsaken till detta är att värmepumpen bidrar till energitillförseln med ca 25% av totalt tillförd energi.

De väsentligaste bidragen från energiexperimenten är glasgårdens buffertfunktion och förmåga att tillvarata förlustvärme samt byggnadens planlösning.

Andra orsaker till den låga energianvändningen bedöms vara en effektiv idrifttagning och ett väl anpassat styr- och reglersystem.

1 INLEDNING

1.1 Bakgrund

Ett särskilt energiprogram för forskning och utveckling inom Stockholms stad upprättades 1981. Detta utvecklades senare till ett ramavtal mellan Stockholms stad och Byggforskningsrådet (BFR), vilket bland annat medförde samfinansiering av vissa forskningsprojekt. Syftet med energiprogrammet var att skapa underlag för en effektivare energianvändning för bostäder inom Stockholms stad. På så sätt skulle de energipolitiska målen uppfyllas.

De riktlinjer som antogs för Stockholms energiplanering avsåg bland annat energihushållning och övergång till annan energiproduktion för att minska oljebehovet. Målet var att reducera energibehovet för uppvärmning med 50 procent.

Forskningsprogrammet omfattade sju olika ramprojekt varav ett var "Energisnåla nya flerbostadshus", som i huvudsak kom att omfatta experimentbyggnadsprojektet - Stockholmsprojektet.

De idéer och den teknik som utvecklas och provas i Stockholmsprojektet baserar sig på förslag som lämnades av ledande bygg- och konsultföretag i samband med de idétävlingar Stockholms stad utlyste 1980-81, inför planeringen av bebyggelse på Södra stationsområdet och i Hansta. De förslag som då lämnades gällde såväl enkla, välkända komponenter, som komplexa system. Förslagen ställdes samman och presenterades som ett antal idéförslag.

1982 anvisade Stockholms stad mark för byggande av experimenthus med låg energianvändning. Sex byggherreföretag påbörjade genomförandet av Stockholmsprojektet i samverkan med Stockholms stad, Kungl. Tekniska Högskolan (KTH) genom projektgruppen för energihushållning i byggnader (EHUB) och Byggforskningsrådet (BFR). En av byggherrarna var Armerad Betong Vägförbättringar (ABV) numera NCC, som uppförde en bostads- och kontorsbyggnad i kvarteret Bodbetjanten i Gubbängen söder om Stockholm.

Byggnaden slutbesiktigades i februari 1986 och mätningar har pågått från november 1985 till juli 1988. Denna rapport är en redovisning av den energitekniska utvärderingen av Bodbetjanten.

1.2 Syfte med utvärderingen

Då målet med forskningsprojektet i sin helhet har varit att minska användningen av energi ska utvärderingen i första hand fastställa behovet av köpt energi och söka förklaringar till eventuella avvikelser från i förhand gjorda beräkningar.

Syftet med utvärderingen är att med hjälp av mätningar och kontroller kunna beräkna hur energin används i Kv Bodbetjanten. Detta resultat ska utgöra underlag för värdering av de energitekniska experimenten. Användningen avser både tillförd och bortförd energi samt hur energin transporteras och utnyttjas inom byggnadens olika delar. Tillförd energi innefattar både "köpt energi" och "återvunnen energi".

Utvärderingen innefattar även studier av hur installerad effekt utnyttjas vid olika driftförhållanden.

Med kännedom om hur energin används i olika delar av byggnaden kan fördelningen av köpt energi till kontoren och bostäderna beräknas. Detta är väsentligt vid jämförelser mellan Kv Bodbetjanten och andra byggnader. Dessutom kan energibidragen relaterade till experimentåtgärderna bedömas.

Ett annat syfte med utvärderingen är att studera om olika energibesparande åtgärder konkurrerar. Detta kan innebära att den sammantagna effekten av flera i sig effektiva åtgärder reduceras. Tex kan den beräknade överskottsvärmen från kontoren minska pga kylning av kontoren nattetid med kall uteluft eller så kan tillvaratagna transmissionsförluster till glasgården minskas på grund av ökad temperatur i gården.

Resultat och erfarenheter ska kunna användas i ny- och ombyggnadsverksamhet, främst med avseende på liknande lösningar med överglasningar och utnyttjande av kombinerad verksamhet i samma byggnad. Då Kv Bodbetjanten består av både bostäder och kontor är dock förhoppningen att utvärderingen ska vara värdefull även i mer renodlade sammanhang.

1.3 Byggnads- och anläggningsbeskrivning

Kv Bodbetjanten består av ett bostadshus med loftgångar som är sammanbyggt med ett kontorshus. Loftgångarna ligger kring en glasad gård. Bostadsdelen består av tre våningsplan med totalt 41 st lägenheter, varav två lägenheter på plan tre är etagelägenheter. Kontorsdelen består av fyra plan. Även i kontorsdelen finns en inglasad gård som står i förbindelse med bostadsdelens gård. De bägge gårdarna betraktas därför i den fortsatta redovisningen som en gemensam volym.

Byggnaden är orienterad så att kontorsrummen är vända mot norr och bostäderna mot söder, öster och väster.



Bild 1.1 Kv Bodbetjanten ligger i Gubbängen, en förort strax söder om Stockholm. Byggnaden känns lätt igen på sin speciella exteriör. Kv Bodbetjanten är ovanlig på flera sätt, bl.a finns både bostäder och kontor i samma byggnad.

Glasgården är en viktig del av den energitekniska lösningen. Gården är inte överglasad utan är delvis överbyggd med ett fläktrum. Det finns endast vertikala glaspartier. Denna lösning har valts för att undvika övertemperatur sommartid och minska värmeutstrålningen under nätter. Dessutom beräknas underhållskostnaderna minska för rengöring och reparationer av glaspartierna.

Gården värms med frånluft och cirkulationsluft från kontoren, solvärme genom glasen samt transmissionsvärme från angränsande uppvärmda byggnadsutrymmen. Gården kallas i projektbeskrivningen för vinterträdgård (Andersson, 1988). Temperaturen i gården ska ligga mellan utomhus- och inomhustemperatur och inte understiga $+ 8^{\circ}\text{C}$.

Genom att bygga kontor och bostäder i samma byggnad förväntas bostäderna i vissa fall kunna utnyttja överskottsvärme från kontoren, sk kombieffekt. Detta förväntas sänka behovet av köpt energi för uppvärmning.

1.3.2 Glasgårdens konstruktion

Väggarna mellan gård och bostäder respektive kontor består av 120 mm tegel, 95 mm mineralull/reglar med 13 mm gipsskivor. Bostädernas och kontorens fönster mot gården är av tvåglastyp. För att undvika problem med kondens mellan glasen består glaspartierna i gårdens ytterväggar av förseglade tvåglasfönster. Fönstren mot gården har ett U-värde på ca $3 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$. Väggarnas U-värde är ca $0.4 \text{ W/m}^2, ^\circ\text{C}$.

1.3.3 Installationsteknik

Värme- och ventilationssystemet är relativt omfattande och byggnaden kan därför betraktas som "installations-tät". En principskiss som beskriver uppbyggnaden av systemet visas i figur 1.2.

Tillsammans med en elpanna försörjer en värmepump byggnaden med värme och varmvatten. Värmepumpen återvinner värme ur frånluften, glasgården och från kontorens tilluft när kylbehov föreligger. Värmen distribueras lågtempererad ($45 ^\circ\text{C}$) till bostadsdelen via ett konvektorsystem. Kontoren tillförs värme huvudsakligen som luftvärme via hålbjälklagen samt via elradiatorer.

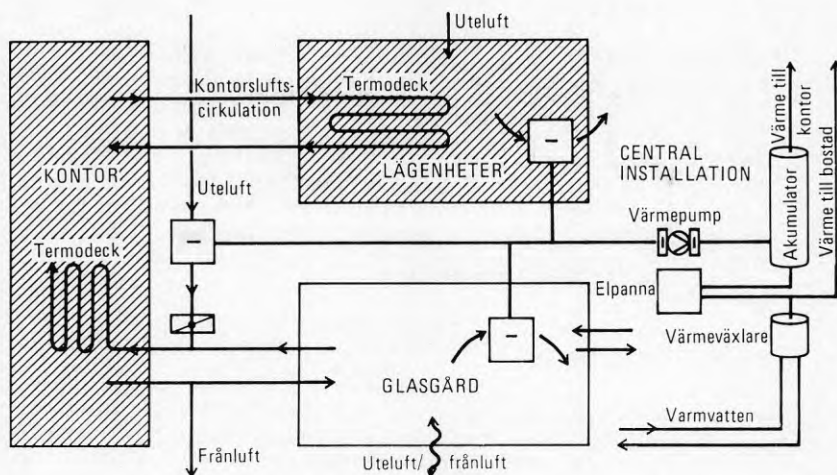
Elradiatorer, placerade under kontorens fönster, är främst avsedda som kallrasskydd vid låga utetemperaturer. Radiatorerna har en effekt på 0.1 kW vardera.

Bostadsdelen har mekanisk frånluftsventilation. Tillförsel av uteluft sker via springventiler i ytterväggarna. Ventilationsflödet är konstant under hela året. Kontorsdelen har mekanisk till- och frånluft som är integrerad med distributionen av luftvärme via hålbjälklagen. Under vintern kan kontoren ventileras med gårdsluft.

För att kunna anpassa tillgången på värme efter behovet, ackumuleras värme från värmepumpen i två vattenbehållare på sammanlagt 10 000 liter.

Dessutom kan värme överföras mellan kontoren, bostäderna och glasgården via luftflöden.

Kv BODBETJÄNTEN Systembeskrivning



Figur 1.2 Systemskiss som visar energi- och luftflöden i Bodbetjänten. Värmepumpen och elpannan tillför värme för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten. Kontorsluft kan cirkuleras genom gården och bostädernas bjälklag. Värme ur fränluft, utluft och gårdsluft kan tillföras värmepumpen. Glasgården kan ventileras med vädringsfönster.

1.3.4 Areor

För att kunna göra jämförelser med andra byggnader inom och utom Stockholmsprojektet är redovisningen av hur energin används uppdelad, dels på hela byggnaden dels på kontor och bostäder var för sig. Dessutom tas hänsyn till att byggnaden, förutom bostäder och kontor, innehåller den uppvärmda glasgården.

De ytnormerade energier som redovisas baseras på byggnadens totala bruksarea (BRA_T) 6610 m^2 , varav bostäderna upptar 3728 m^2 (BRA_B) och kontoren 2882 m^2 (BRA_K). Glasgårdens area tillkommer och är 610 m^2 . Byggnadens totala area, inklusive gård och vissa andra areor som trapphus mm, är ca 7300 m^2 .

I den ursprungliga kalkylen beräknades inte den ytspecifika energianvändningen på bruksarean utan på en beräknad totalyta 5700 m^2 .

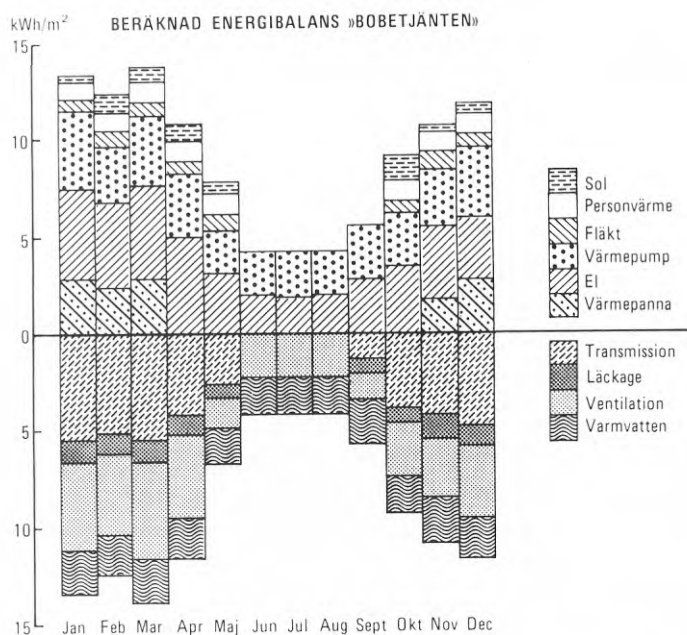
2 HYPOTES

2.1 Två idéer

Energitekniskt omfattar projektet en rad olika lösningar som normalt inte används eller ens har prövats i konventionella byggnader. Det är främst två idéer som ingår i själva energiexperimentet som utvärderats, dels glasgårdens funktion som klimatbuffert och solfångare dels den sk "kombieffekten". Kombieffekt innebär möjligheten att utnyttja överskottsvärme från kontorsdelen till att värma bostadsdelen. Båda lösningarna avser att reducera behovet av köpt energi.

2.2 Simulering

Simuleringsberäkningar för temperaturberoende energianvändning och temperaturförhållanden har gjorts med dataprogrammen BRIS och DEROB (Isfält E, 1986). Beräkningarna omfattar hela uppvärmningssäsongen med klimatdata för Stockholm från 1971. Energianvändningen redovisas månadsvis.



Figur 2.1 Av figuren framgår byggnadens energibalans månadsvis (Isfält E, 1986). Total yta för kontor och bostäder vid beräkningarna uppgår till 5700 m². Summa köpt energi är kalkylerad till 80.5 kWh/m², år.

För att begränsa antalet variabler har symmetrier utnyttjats så långt som möjligt. Endast mellanvåningar har behandlats. Värmeförluster genom yttertak och källare har adderats efteråt. I fall då innerväggarna är lätta kan våningsplanet betraktas som ett rum.

Förutom resultatet från databeräkningen ingår även korrigeringar för värmeförluster genom golvbjälklag och yttertak, tappvarmvatten samt för värmepumpen. Energi från elpannan är uppdelad på ca 45% för uppvärmning av bostäder och 55% för tappvarmvatten till bostäder. I beräkningarna är läckage och transmissionsförluster lägre än i andra byggnader, beroende på de reducerade ytterväggarna pga av glasgården samt systemuppbyggnaden. Det är viktigt att framhålla att icke temperaturberoende energi som fastighetsel mm, inte innefattas av simuleringarna, utan ansätts som fasta ingångsparametrar.

Energibalansen för glasgården månad för månad under uppvärmningssäsongen visas i figur 2.2. Av figuren framgår betydelsen av tillförd värme från kontorens frånluft. Under vår och höst får soltillskottet en allt större betydelse för värmertilförseln. Värmepumpen står för ca 60% av bortförd värme från gården även under de kallaste månaderna.

En analys av simuleringarna av värmeöverföringen från kontoren till bostäderna via hålbjälklagen, visade att detta bidrag skulle ha liten betydelse som kyleffekt för kontoren.

2.3 Kombieffekt

Kontoren förväntas under en del av årets uppvärmningsperiod få så mycket överskottsvärme från belysning, kontorsmaskiner och personer att kylbehov uppstår. Kylbehovet innebär ett behov av att bortföra värme från kontoren. Tanken var att på ett enkelt sätt överföra denna värme till bostäderna och därmed kyla kontoren. Kombieffekten är ett samlingsbegrepp för en teknik att utnyttja överskottsvärme i kontoren till uppvärmning av bostadsdelen och till varmvattenberedning. Detta sker på två olika sätt.

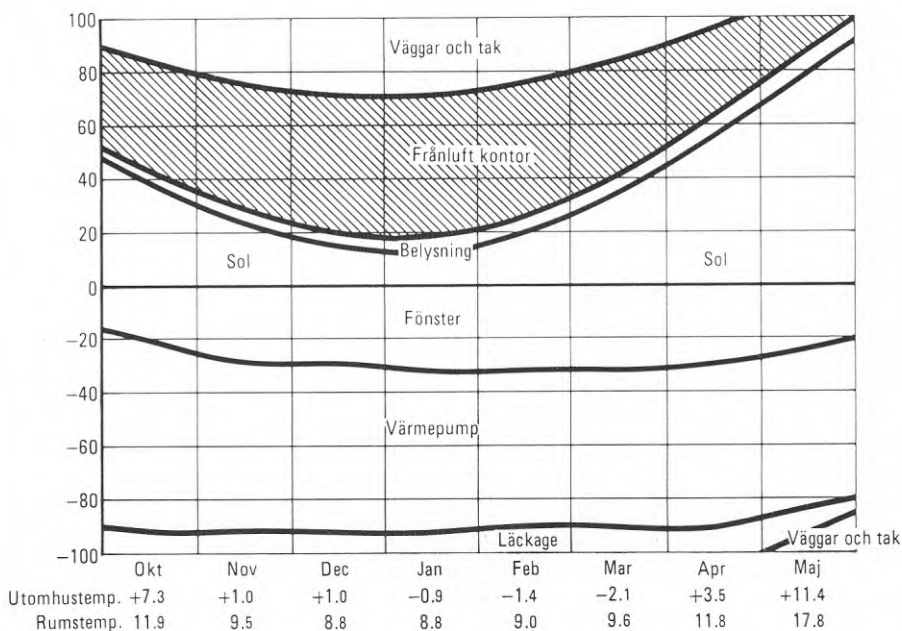
Det första sättet är att via hålbjälklagen i bostadsdelen cirkulera luft från kontorsdelen till lägenheternas bjälklag. I varje kontorsplan finns en cirkulationsfläkt för detta. Kontorsdelen förväntas dagtid ha högre temperatur än bjälklagen i bostadsdelen. Dessutom kan varm luft från undercentralen cirkuleras genom bjälklagen. Detta tillskott till bostadsdelen har beräknats kunna uppgå till ca 15 MWh per år.

Det andra sättet är att överföra värme från kontoren genom att tillföra glasgården frånluft från kontoren och/eller att cirkulera kontorsluft genom gården.

2.4 Glasgården

Glasgården ska, förutom med värme från kontoren, värmas av angränsande varma ytor, solvärme och belysning (Isfält E, 1986). Denna värme ska delvis tillvaratas via anläggningens värmepump. Energittillskotten ska också värma gården till "medelhavsklimat", dvs med en jämn mild temperatur året om. Gården kommer att ha en utjämnande inverkan på temperaturerna i byggnadens olika delar och genom sin buffertfunktion reducera transmissionsförlusterna.

Sammanlagt beräknas dessa bidrag minska energianvändningen med 140 MWh till 160 MWh per år, motsvarande ca 30% av den köpta energin.



Figur 2.2 Simulerad energibalans för glasgården i procent månad för månad, under en uppvärmningssäsong (Isfält E, 1986). Med rumstemperatur menas glasgårdens temperatur som medelvärde per månad.

Under uppvärmningsperioden beräknas temperaturen i gården vara högre än utomhus. Under vintern ska den

inte understiga $+8^{\circ}\text{C}$, och på sommaren, under kontorstid, variera mellan $+15^{\circ}\text{C}$ och $+20^{\circ}\text{C}$.

2.4.1 Transmissionsvärme till gården

Då medeltemperaturen i glasgården under uppvärmnings-säsongen Oktober - Maj, beräknats till ca 10°C , har väggkonstruktionen mot gården inte samma isolerstandard som ytterväggarnas konstruktion. De ytor som angränsar till glasgården har en högre värmegenomgångskoefficient än ytterväggarna. Vid simuleringsberäkningarna har värmertilskottet genom transmission beräknats till ca 25 MWh till 30 MWh per år.

2.4.2 Värme i kontorsluften som tillförs gården

Värme från kontoren kan tillföras glasgården via frånluft och återluft. Tillskotten från kontoren har enligt förhandssimuleringen (Isfält R59: 1986) beräknats till drygt 60 MWh per år.

2.4.3 Solvärme till gården

Glasgården ska kunna utnyttja solvärme som tillskott till energiförsörjningen. Genom att förse gården med vertikala glaspartier ska solenergin bäst kunna tillvaratas de årstider den behövs dvs under höst, vinter och vår när solen står lågt. Horisontella glasytor skulle kunna ge upphov till övertemperatur under sommaren. Dessutom är utstrålningen nattetid väsentligt större från horisontella än från vertikala glasytor.

Genom att gårdens hela sydsida är av glas tillförs också solvärme. Solvärmens nyttiggörs genom att värmepumpen kan kyla gården och genom minskade transmissionsförluster från byggnaden. Det nyttiggjorda bidraget av solvärme via värmepumpen har beräknats till ca 40 MWh per år av totalt ca 60 MWh tillförd solvärme.

2.4.4 Belysningsvärme till gården

Vid beräkning av energibalansen för gården har hänsyn även tagits till värmertilskott från gårdsbelysningen. Belysningsenergin har ansatts till ca 5 % av den totalt tillförda energin. Detta motsvaras av 6 till 7 MWh tillförd energi under uppvärmningsperioden Oktober tom Maj. Medeleffekt under dygnet skulle då uppgå till

drygt 1 kW. Installerad belysningseffekt till gården uppgår till ca 13 kW.

2.4.5 Värme från undercentral och fläktrum

Förlustvärme från installationer i undercentralen och fläktrummet kan också tillföras glasgården via ventilationssystemet. Dessa bidrag har inte kvantifierats i den ursprungliga hypotesen. I rapporten "Överglasade gårdar och värmeöverföring från kontor till bostäder, Kv Bodbetjanten", (Andersson, 1988) har detta bidrag kvantifierats till ca 40 MWh. Det avser då nyttiggjord värme från gården via värmepumpen.

2.4.6 Minskad transmissionvärme och läckage tack vare gården

Förutom att olika värmetillskott till gården kan nyttiggöras via värmepumpen, kan den uppvärmda gården minska transmissions- och läckageförluster från angränsande uppvärmda byggnadsdelar. Detta bidrag har beräknats till ca 60 MWh per år (Andersson, 1988).

2.5 Experimentätgårdernas totala energibidrag

Energibidraget från kombieffekten och glasgården beräknades, tillsammans med återvinning av energi ur frånluften via värmepumpsystemet, kraftigt kunna reducera behovet av köpt energi. Bidragen från experimentätgårderna betraktas dels av hur mycket som kan nyttiggöras via värmepumpen dels i form av minskade transmissionsförluster.

Enligt simuleringsberäkningarna kommer värmepumpen att utvinna ca 100 MWh från gården för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten. Ca 60 MWh kan relateras till minskade transmissionförluster och 16 MWh till värmeöverföringen via hålbjälklagen.

De i förhand beräknade bidragen från de olika experimentätgårderna redovisas i följande tabell dels totalt per år i MWh, dels per ytenhet för total bruksarea, bostädernas bruksarea och kontorens bruksarea i kWh/m² och år.

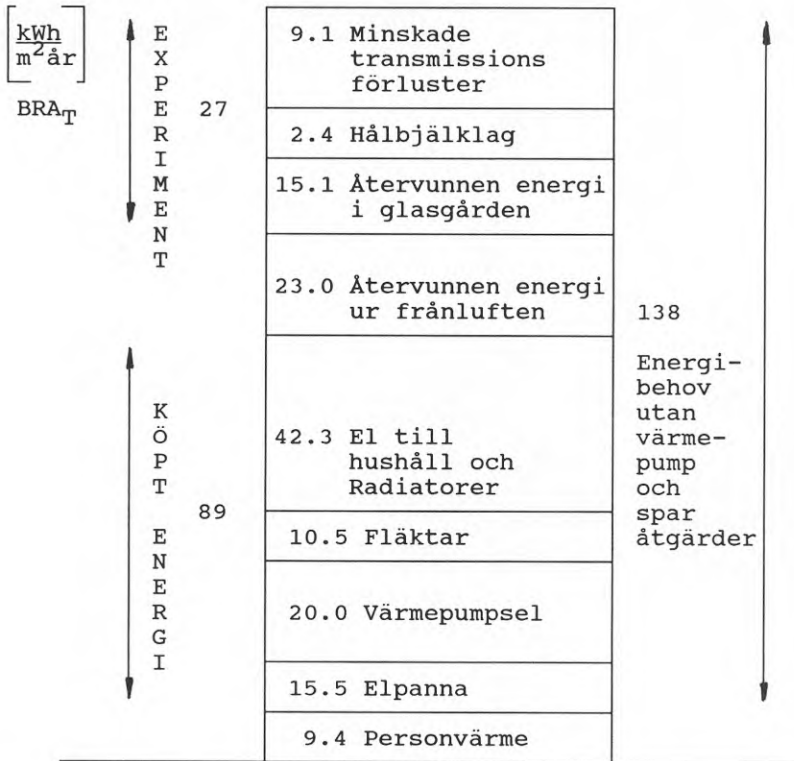
Tabell 2.1 Energibesparing baserat på förhandsberäkningar för olika åtgärder totalt i MWh för ett kalenderår. Den totala beräknade besparingen är också uppdelat på total bruksarea eller bruksarea för bostäderna respektive kontoren med enheten kWh/m² och år.

	Total Bostad Kontor			
	Tot MWh	BRA _T kWh/m ²	BRA _B kWh/m ²	BRA _K kWh/m ²
<u>Hålbjälklag</u>				
Cirk. av varmluft i hålb- bjälklag	16	2.4	4.3	5.6
<u>Gården</u>				
Kontorsluft via gården	40	6.1	10.7	13.9
Solvärme via gården	40	6.1	10.7	13.9
Transmission och belysning via gården	20	3.0	5.4	6.9
Minskade trans.förluster	60	9.1	16.1	20.8
SUMMA	176	26.6	47.2	61.1

Vid simuleringsberäkningarna har det totala behovet av köpt energi, inklusive hushålls- och fastighetsel, beräknats till ca 590 MWh. Beräknat på byggnadens totala yta, ca 7300 m², blir energibehovet per ytenhet ca 81 kWh/m². Detta motsvarar ca 89 kWh/m² och år för byggnadens totala bruksarea (BRA_T), 6610 m².

Värmepumpens totala bidrag i form av återvunnen värme ur frånluft och gårdsluft har beräknats till ca 255 MWh (exklusive el). Värmepumpens andel av tillvaratagen värme från glasgården uppgår till ca 100 MWh.

Dessutom tillförs personvärme, beräknat till drygt 60 MWh per år. Totalt tillförd energi beräknas således uppgå till ca 900 MWh motsvarande ca 140 kWh/m² BRA_T och år.



Figur 2.3 Beräknad tillförsel av energi till Kv Bodbetjänten. Utöver köpt energi tillkommer experimentens totala bidrag baserat på simuleringsberäkningar och bedömningar.

Det totala bidraget från experimentåtgärderna per år uppgår enligt hypotesen till mellan 170 och 180 MWh. Detta motsvarar ca 20 % av totalt tillförd energi förutom personvärme. Räknat på enbart köpt energi utgör experimentåtgärdernas andel ca 30%.

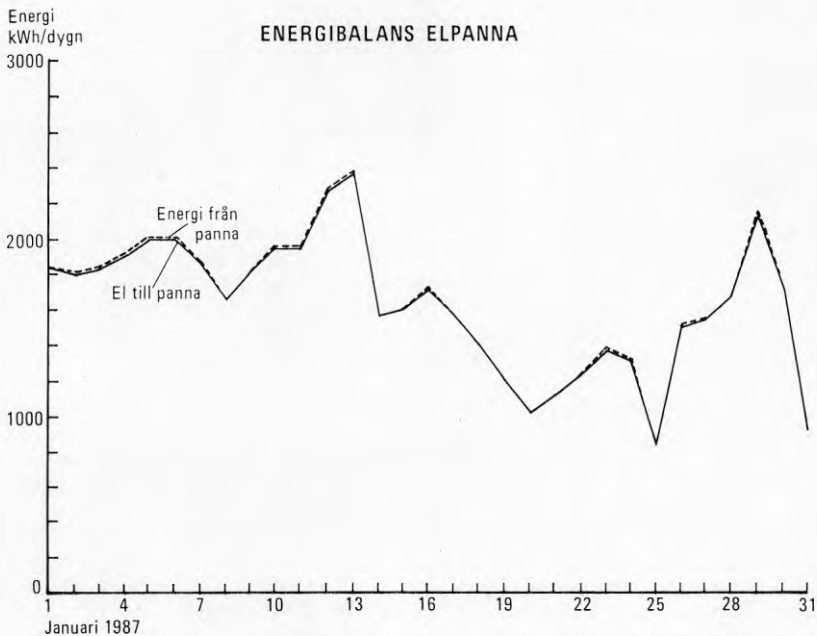
3 METODIK

3.1 Mätningar

Till grund för utvärderingen ligger mätdata från ca tre års mätningar från 1985 till 1988. I byggnaden finns ca 200 fast installerade mätgivare av olika slag. Mätvärden har lagrats som timvärden via ett datoriserat mätsystem. Detta innebär totalt ca fem miljoner registrerade mätvärden.

Under den inledande tiden fram till årsskiftet 1986-87 har kontoren inte varit helt "bemannade". Under denna period har dessutom vissa driftstörningar påverkat anläggningen, varför mätresultat från 1:a januari 1987 och framåt bedömts vara mest representativa för systemet.

För att säkerställa kvaliteten hos dessa mätvärden har omfattande kontroller av givare och mätvärden utförts av Mätcentralen för Energiforskning vid Kungliga Tekniska Högskolan, som också varit ansvariga för mätinstallationen och datainsamlingen.



Figur 3.1 Mätresultat från januari 1987. Figuren visar dygnsmedelvärden för el till pannan och vätskeburen värme från pannan. Värdena är i stort sett oberoende uppmätta och visar mycket god överensstämmelse.

Vid planeringen och instrumenteringen av givare har en genomgående målsättning varit att enskilda givare och beräkningar av energiflöden ska kunna jämföras mot en referens. Detta kan tex göras genom att placera två givare bredvid varandra eller mäta energibalanser över en komponent i systemet. Detta kan vara energi till och från en värmepump eller en värmeväxlare.

Vid behandling och analys av mätdata kan sedan fel och osäkerheter bedömas utifrån dessa referenser (Se fig 3.1 där el till elpannan och vätskeburen energi från elpannan mätts oberoende av varandra. Vid jämförelser av mätresultat är det viktigt att dessa mäts och beräknats så oberoende av varandra som möjligt, så att inte samma fel påverkar de jämförda resultaten.

3.1.1 Mätteknik

Samtliga givare är anslutna till en datoriserad mätstation, av typ Hewlett Packard 86, via en pulsräknare och systemvoltmeter. Antalet pulser avläses av datorn var 12:e minut. En gång per timme summeras antalet pulser, omräknas till enheten MJ och lagras som en timsomma. Analoga signaler som tex temperaturer lagras som timmedelvärden.

Samtliga temperaturgivare i Stockholmsprojektet har krav på en onoggrannhet som är lägre än ± 0.06 °C. Den totala onoggrannheten är dock i första hand beroende på hur givaren är placerad vid mätstället. Detta gäller främst störningar genom strålning vid temperaturmätning i luft.

För mätning av elenergi används klass-2 mätare, vilka har en märkt onoggrannhet understigande $\pm 2\%$. Strömtransformatorer till elmätare antas ha ett maxfel understigande $\pm 0.2\%$. Det totala felet understiger därför $\pm 3\%$. Elmätaren avger en puls per energienhet som registreras av mät datorn.

Vätskeburen energi mäts genom att det i varje energisnitt finns en flödesgivare och två temperaturgivare. Flödet mäts analogt med elenergierna genom registrering av pulser som motsvarar en viss genomlupen volym. Energimängden räknas fram för varje 12-minutersperiod av mät datorn och lagras som timsomma med enheten MJ. Vid beräkning av vätskeburen energi under normala driftförhållanden, beräknas onoggrannheten understiga $\pm 5\%$ inklusive fel från flödesgivare och temperaturgivare.

Även luftflöden registreras via det fast installerade mätsystemet. Flödena mäts med hjälp av tryckdifferensmätning i luftkanalerna.

På grund av osäkerhet om hur stor del av kontorsluften till gården som återförs till kontoren, utfördes en spargasmätning i April 1988. (Se bilaga 1).

För luftburen energi beräknas onoggrannheten normalt understiga $\pm 10\%$. Detta gäller då hänsyn tagits till felkällor från flödesmätning, temperaturmätning, beräkning av värmekapacitet och densitet. Den relativt höga onoggrannheten beror bl.a. på att erforderliga raksträckor före och efter mätområdet inte alltid varit tillgängliga.

För att beräkna onoggrannhet och precision hos mätstationen, systemvoltmeter mm är varje station försedd med ett sk kontrollmotstånd. Motståndets värde mäts under samma förhållanden som övriga mätpunkter. Kontrollmotståndet är ett precisionsmotstånd på 100 Ohm, med en onoggrannhet understigande $\pm 0.2\%$. Detta innebär att medelvärde, max och minvärde samt standardavvikelse för mätvärdet på detta motstånd är ett mått på mätutrustningens onoggrannhet och precision. Kontrollmotståndets mätvärde har under mätperioden inte avvikit mer än ± 1 Ohm, dvs $\pm 1\%$.

Normalt utförs kontroller av givare i tre etapper, före installation, i samband med idrifttagandet av anläggningen och i vissa fall efter demontering.

3.1.2 Kontroll och efterbehandling av mätdata

Vid efterbehandlingen av data utgår man från de entimnessummor som lagrats på mätplatsen. Långa mätserier innehåller dock ibland uteblivna mätvärden. Data måste därför efterbehandlas för att medge sammanställningar till tex månads och årssummor.

Tillgängligheten på mätdata har varit mycket god. Den längsta perioden, ca 7 dygn, med uteblivna mätvärden inträffade under hösten 1987. I övrigt saknas endast enstaka timvärden vid några tillfällen. Vid summering av timvärden till tex månadssummor ersätts alla saknade värden med medelvärdet av befintliga timvärden för månaden.

Kända avvikelser och fel korrigeras före användningen av data. Vidare görs nödvändig enhetsomvandling (vätskeburna energier lagras som MJ medan elenergies lagras som kWh).

3.1.3 Felanalys

Maxfelet är i detta fall det krav på noggrannhet som ställts på olika mätpunkter i projektet. Följande felgränser får inte överskridas enligt de krav som ställts på enskilda mätpunkter:

Temperaturer	+/- 0.1 K
Vätskeflöden	+/- 2 %
Elenergi	+/- 3 %
Vätskeburen energi	+/- 5 %
Luftburen energi	+/- 10 %

För de storheter som är uppmätta var för sig är mätfelet i stort sett oberoende av varandra och kan sägas ha svag eller ingen korrelation. Vissa energier är dock inte direkt mätbara utan sammansatta av ett stort antal uppmätta och beräknade variabler. Vid summering av i sig oberoende mätvärden kommer de relativa felen hos varje delstorhet statistiskt sett att motverka varandra. Felen har inte alltid samma riktning.

En mer detaljerad beskrivning av mätsystemet och dess funktion ges i : Wångren B, Wickman P, "System för mätning, analys och presentation av mätdata i STOCKHOLMSPROJEKTET", Mätcentralen för energiforskning, KTH (ej publicerad).

3.2 Utvärderingmetoder

3.2.1 Energianvändning

Energisystemet i Kv Bodbetjänten är komplicerat. Trots omfattande mätningar är en mängd variabler osäkra och svåra att analysera. De energiflöden som inte är direkt mätbara måste därför beräknas indirekt eller i vissa fall uppskattas. Det påverkar naturligtvis möjligheten att analysera energisystemet i sin helhet.

Då byggnaden består av olika delar måste, förutom tillförd energi även, energiflöden inom systemet beskrivas. Detta beror på att byggnadens olika delar energitekniskt väsentligen skiljer sig från varandra med avseende på temperaturer, luftomsättning, mm. Kännedom om hur den tillförda energin används och transporteras mellan de olika delarna, innan den bortförs från byggnaden, är alltså viktig.

Dessa förlopp presenteras som energiflödeschemor för olika driftperioder, sk Sankeydiagram.

För att beskriva energianvändningen i systemet, redovisas även energiomsättningen, dvs energi till- och från glasgården samt kontors- och bostadsdelen var för sig. Vid redovisning av energiflöden i detta sammanhang kommer endast månadsvärden att användas, varför påverkan av tillfälliga temperaturvariationer och laddningsprocesser inte har någon avgörande betydelse.

Dessutom redovisas vissa energibalanser som dygns- medelvärden. Detta gäller enskilda komponenter, som tex värmepumpen och elpannan.

Ett viktigt moment i redovisningen av energi-användningen är kvantifiering av sekundärt värmetillskott, dvs hur mycket värme som avges från apparater och belysning mm. Det sekundära tillskottet av värme påverkar behovet av primär värmetillförsel i stor utsträckning och/eller temperaturen i byggnaden, men är vanligtvis inte direkt mätbart.

Det sekundära värmetillskottet kan till viss del nyttiggöras för att täcka värmebehovet. Den del som inte kan nyttiggöras bortförs från byggnaden som förluster genom vädring, ventilering eller ger upphov till övertemperatur om inget värmebehov finns. Sekundärvärmen kan också reducera möjligheterna att utnyttja återvinning och experimentåtgärderna till fullo.

Hur sekundärvärme tillgodogörs och hur återvinningen utnyttjas samt hur tillfört överskott av sekundärvärme till kontoren kan överföras till glasgården och bostäderna kan beskrivas av byggnadens energibalans.

3.2.2 Köpt energi

Köpt energi används på olika sätt i kontoren och bostäderna. Energitekniskt beror skillnaden främst på olika temperaturnivåer, ventilationsbehov och användning av tappvarmvatten. Dessutom finns skillnader i användningen av el till fläktar och belysning. Skillnaderna i användning av kontoren och bostäderna måste därför beaktas vid jämförelser av resultat från Kv Bodbetjanten och andra byggnader.

Den köpta energin uppdelas på åtta delposter efter de mätningar som gjorts. Fördelningen av köpt energi från elpannan och värmepumpen till värme och varmvattenberedning i kontoren respektive bostäderna är däremot inte direkt mätbar. Fördelningen beräknas därför utifrån hur kontoren respektive bostäderna använder den värme som produceras i elpannan och värmepumpen.

Resultaten presenteras som månadssummor och årsammanställningar för totalt köpt energi, uppdelat på kontoren respektive bostäderna. Resultaten korrigeras för skillnader mellan mätåret och normalåret (se avsnitt "kontroll och efterbehandling av mätdata").

3.2.3 Kombieffekt

Utgående från kunskap om energiflöden i anläggningen utvärderas kombieffekten med avseende på energiteknisk funktion och energibesparing. Med kombieffekt menas möjligheten att överföra överskottsvärme från kontoren till bostäderna via hålbjälklag och glasgården.

Överförd värme via hålbjälklagen är uppmätt som luftburen värme och redovisas både som månadssummor och som timmedeleffekter över dygnet. Värmeöverföringen relateras till uppmätta temperaturnivåer i bostäderna och kontoren.

Gårdens förmåga att tillvarata värme från kontoren jämförs med temperaturer i kontoren och gården.

3.2.4 Glasgården

Gården är en del i återvinningssystemet då transmissionsvärme från kontoren och bostäderna kan tillvaratas i gården och värmepumpen kan hämta värme från gården. Med kännedom om energiflöden till och från gården kan dess återvinningsfunktion sökas.

Glasgårdens funktion som klimatbuffert söks genom att beräkna hur mycket solvärme och annan tillförd värme som kan tillvaratas. Tillförd sekundärvärme till gården från belysning och fläktar beräknas utifrån uppmätta drifttider och beräknade effekter.

Dessutom beräknas hur den uppvärmda gården påverkar de totala transmissionsförlusterna från byggnaden. De minskade transmissionsförlusterna antas vara proportionella mot skillnaden i isolerstandard mellan väggar mot gården och ytterväggar samt temperaturskillnaden ute och i gården.

Ytterligare en fråga som studeras är hur den tillvaratagna energin i gården skulle kunnat tas tillvara utan gård, vilket är avgörande vid bedömningen av glasgårdens energitekniska funktion.

4 ENERGIANVÄNDNING

För att ge en bild av hur energin används i Kv Bodbetjänten redovisas i det här avsnittet, tillförd energi och systemets energibalans. Med energibalans menas då att det måste tillföras lika mycket energi till byggnaden som det bortförs genom väggar, fönster, ventilation, avlopp, mm. Resultatet av två års mätningar redovisas under ett antal delrubriker.

I det följande avsnittet beskrivs också hur de olika energierna används och påverkas av behov och klimat. Installerade effekter för viktiga komponenter och hur de olika delenergierna är uppmätta redovisas.

Då byggnaden består av olika delar, som energitekniskt väsentligen skiljer sig från varandra måste, förutom tillförd energi, även energiflöden inom systemet beskrivas. Hur används och transporteras den tillförda energin i och mellan de olika delarna innan den bortförs?

Med tillförd energi menas här summan av tillförd elenergi och tillförd återvunnen energi. På tillförselsidan är huvuddelen av energiflödet uppmätt, såväl total elenergi som återvunnen energi via värmepump.

Personvärmets tillförsel internt till systemet men är tillsammans med värmetillskottet från solen svårt att beräkna. I första hand kommer därför den tillförda energi som är mätbar att redovisas och balanseras mot använd och bortförd energi. Beräkningen av energiflöden på bortförselsidan balanseras mot noggrant uppmätt tillförd energi.

För att beskriva energitransporter inom byggnaden redovisas energiomsättning i glasgården samt mellan kontoren och bostäderna. Dessutom redovisas energibalanser över enskilda komponenter som värmepumpen och elpannan.

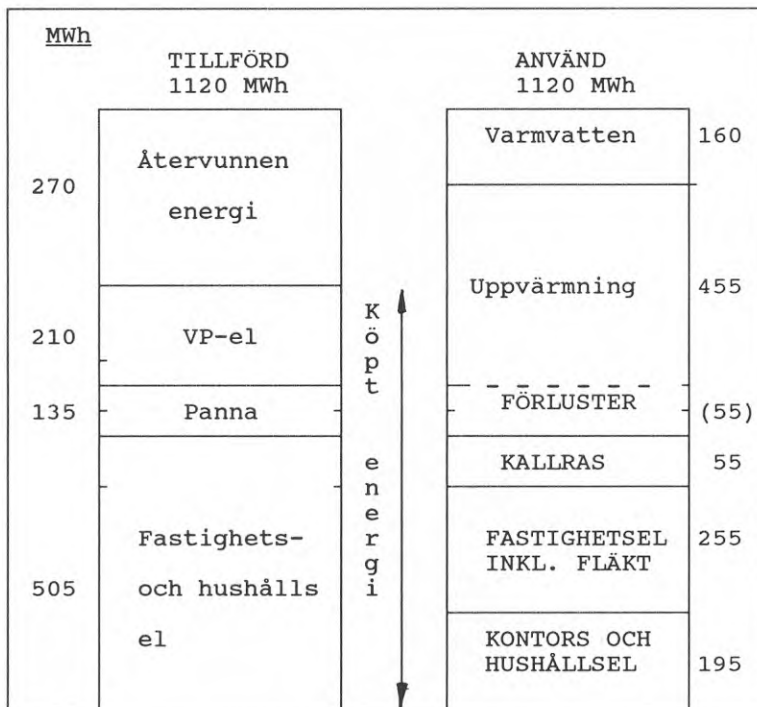
Under kortare perioder, dvs två till fem dygn, kan obalans mellan tillförd och bortförd energi råda. Det medför att temperaturen i byggnaden stiger eller sjunker eller/och värme urladdas eller inläddas i byggnadsstommen. För att minimera effekten av laddningsprocesser på redovisade resultat kommer därför i första hand årstids- och månadsvärden att redovisas.

Som komplement till beskrivningen av energiflöden redovisas sammanställningar för de olika årstiderna i form av "sankeydiagram" i bilaga 1. Detta sätt att redovisa energiflöden ger en bild av hur energiflödena förhåller sig till varandra under olika driftförhållanden.

4.1 Tillförd och använd energi

Med tillförd energi menas både köpt elenergi och återvunnen energi som utnyttjas i byggnaden.

Med använd energi menas hur den tillförda energin distribueras och utnyttjas i byggnaden. Om hela systemet betraktas som en enhet tillförs primärt, endast elenergi som köpt energi. Med uttrycket "Köpt Energi" menas då all energi som måste köpas för att driva fastigheten och dess hushåll/kontor.



Figur 4.1 Uppmätt tillförd- och använd energi till kontoren och bostäderna under 1987. Värdena är inte temperaturkorrigerade.

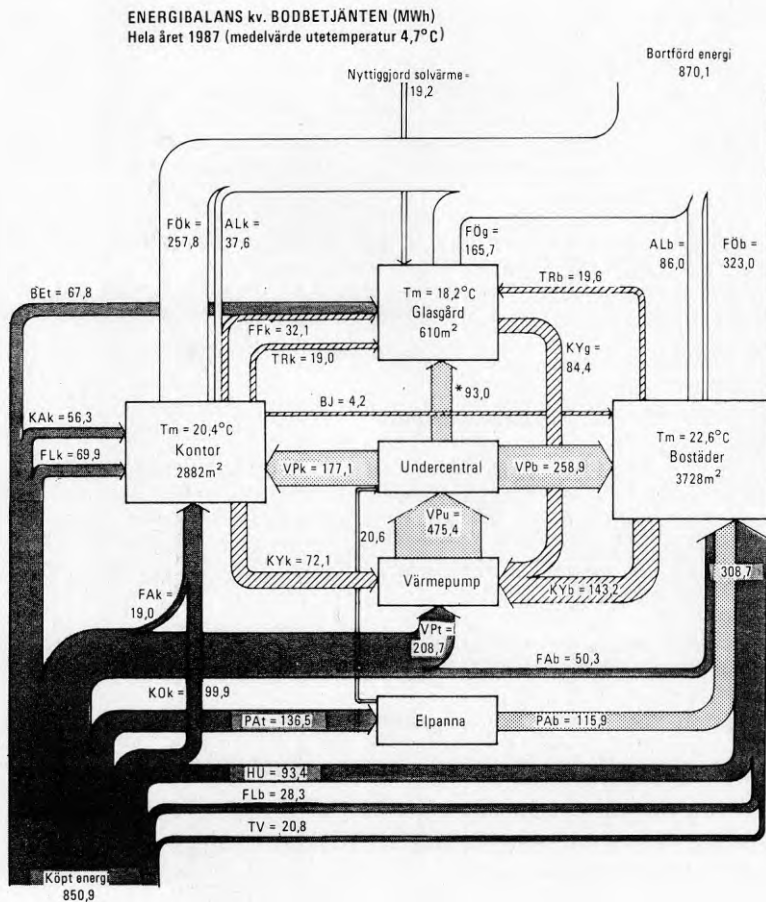
4.2 Tillförd energi

Förutom elenergi till elpannan och värmepumpen tillförs fastighetsel, hushålls- och kontorsel. Fastighetsel indelas i el till fläktar samt övrig el till fastigheten inklusive belysning, pumpar, hissar mm. Hushållsel innefattar el till bostädernas köksutrustning, belysning mm. Kontorsel består av el för an-

vändning av apparater och belysning i kontoren. Dessutom tillförs el till elradiatorer i kontoren avsedda som kallraskydd under fönstren. Dessa delenergies utgör tillsammans total mängd köpt energi till fastigheten.

Total installerad eleffekt uppgår till ca 940 kW, varav 560 kW för bostädernas hushållsel. Den totalt installerade eleffekten motsvarar ca $142 \text{ W/m}^2 \text{ BRA}_T$.

Återvunnen energi tillförs dessutom till bostäderna för uppvärmning och tappvarmvattenberedning.



Figur 4.2 Diagrammet visar hur tillförd energi fördelas och används i systemets olika enheter under 1987. Bredden på pilarna i diagrammet är proportionella mot energiflödena (Se bilaga 1).

4.2.1 El till pannan

El till pannan mäts med separat elmätare. Elpannan har en installerad och uppmätt maxeffekt på 115 kW. Värme från elpannan används till bostädernas och kontorens uppvärmning och till beredning av varmvatten. Bostäderna tillförs vattenburen värme via konvektorer. Värmen från pannan tillförs till kontorens tilluft via ett värmebatteri i fläktrummet.

Värmeavgivning från elpannan och tillhörande installation i undercentralen tas i stor utsträckning tillvara via ventilationssystemet genom att gårdsluft cirkuleras genom undercentralen. Värme från undercentralen tillförs även bostäderna direkt via luftcirkulation genom ett av hålbjälklagen.

Värmetillförsel från installationerna i undercentralen är relativt sett störst under sommarperioden. Värmeavgivningen i undercentralen bidrar till byggnadens värmetillförsel under uppvärmningsperioden, men kan även bidra till en ökning av temperaturen i glasgården under sommaren.

Totalt uppgår elanvändningen till pannan till ca 140 MWh under 1987. Detta ger en utnyttjandetid, dvs hur många timmar den installerade effekten utnyttjats under hela året, på ca 1200 timmar.

4.2.2 El till värmepumpen

El till Värmepumpen mäts också med separat elmätare. Värmepumpen har en motoreffekt på 32 kW och beräknad värmeeffekt på ca 90 kW. Energi från Värmepumpen används till uppvärmning av kontorens tilluft, uppvärmning av bostäderna samt till beredning av tappvarmvatten.

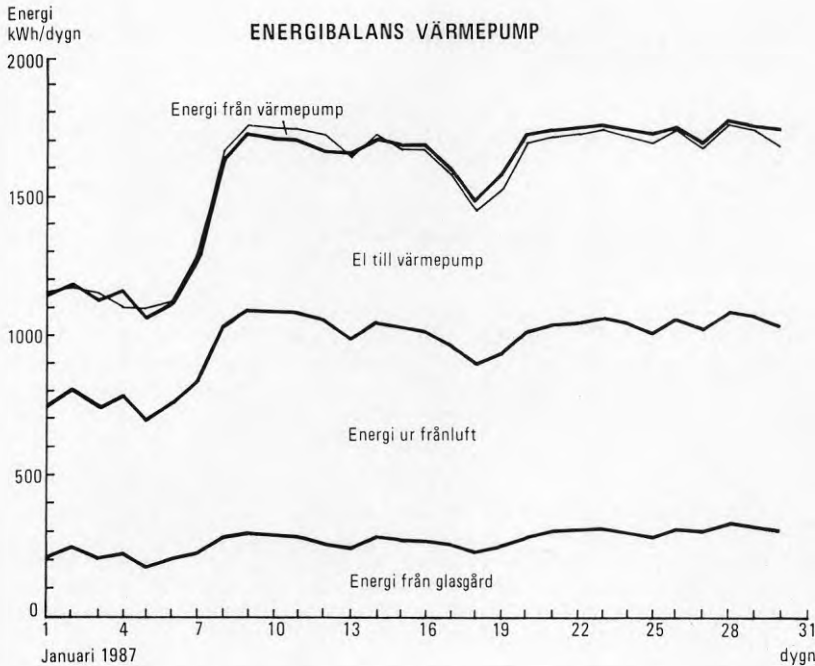
Förutom el till värmepumpen mäts även totalt avgiven energi via värmebärarkretsen samt tillförd energi från frånluften, glasgården och kylning av kontoren. Dessa energiflöden utgör tillsammans en energibalans över värmepumpen, vilket framgår av figur 4.3

Under Januari 1987 är värmepumpen i kontinuerlig drift hela månaden förutom de första dagarna. Uppmätt elenergi till kompressormotorn uppgår till ca 19 MWh för hela januari. Detta motsvaras av en medeleffekt under månaden på ca 27 kW. Den avgivna energin till värmesystemet uppgår till ca 48 MWh, vilket ger en värmefaktor på ca 2.5 som medelvärde för månaden.

Under sommaren ökar värmeförlusterna från rörledningar ackumulatorer mm, i förhållande till utnyttjad värme från värmepumpen pga lägre värmebehov och längre stil-

leståndstider. Detta påverkar utnyttjandet av värmepumpen negativt. Under juli är medelvärmefaktorn ca 1.6. Medelvärmefaktor under hela 1987 är ca 2.3.

Utnyttjandetiden för den installerade effekten 32 kW uppgår till ca 6500 timmar. Energitäckningsgraden, ETG, definierat som värmepumpens bidrag till värmeförsöeln har varit mellan 70% och 80%.



Figur 4.3 El till Värmepumpen och avgiven värme under januari 1987. Diagrammet visar värmepumpens avgivna energi via värmebärarkretsen samt utvunnen värme från glasgården och fränluften. Värdena avser dygnsmedelvärden i kWh.

Den största delen värme hämtas från fränluften. Man kan också se att andelen el till värmepumpen ökar i förhållande till totalt avgiven energi i slutet på månaden. Värmefaktorn sjunker från ca 3.0 i början av månaden till 2.2 vid slutet av januari. Den låga värmeavgivningen i början på månaden beror på att kontoren inte använts under första veckan.

4.2.3 Kontorsel

Kontorsel mäts med separat elmätare och innefattar el-energi till kontorsmaskiner och belysning i kontoren. Denna energipost uppgick 1987 till ca 100 MWh, motsvarande ca 35 kWh/m^2 räknat på bruksarean (BRA_K) för kontoren. Den största delen av energin tillförs kontoren som värme, dvs sekundärt värmetillskott.

Installerad effekt för kontorsel är ca 35 kW, vilket motsvaras av sekundär värmeeffekt på ca 12 W/m^2 .

4.2.4 Hushållsel

Hushållsel är den elenergi som levereras direkt till lägenheterna och som betalas av hyresgästerna. Hushållsel mäts, dels med en huvudmätare, dels med elmätare för varje lägenhet. I denna post ingår belysning i lägenheterna samt el till vägguttag, spisar, kylskåp, frysar mm. I hushållsel ingår också el till elradiatorer i bostädernas badrum.

Hushållsel under 1987 uppgick till ca 94 MWh, motsvarande ca 25 kWh/m^2 räknat på bruksarean (BRA_B) för bostäderna. Totalt installerad effekt till hushållen är ca 560 kW. Uppmätt dygnsmedeleffekt per lägenhet motsvaras av 0.3 till 0.5 kW.

Elradiatorer i bostädernas badrum

I bostädernas badrum finns elradiatorer med en installerad effekt på 400 W per badrum, total ca 16 kW. Om radiatorerna antas vara i drift 5 timmar per dygn och lägenhet under perioden Oktober -- April, ger detta ett approximativt årligt behov av 16 till 17 MWh. Dessa radiatorer var inte med i den ursprungliga kalkylen.

Tvättstugor

Tvättstugeel innefattar två stycken tvättstugor i bostadsdelen och mäts med en separat elmätare. Installerad effekt uppgår till ca 50 kW. I redovisningen av köpt energi till hela fastigheten ingår tvättstugeel i posten "Övrig fastighetssel".

Normal energianvändning för tvättstugor är ca 60 kWh per dygn. Energianvändning uppgår då till ca 500 kWh per år och lägenhet, motsvarande 250 kr per år med ett elpris på 50 öre.

4.2.5 Fastighetsel

Fastighetsel används för att driva ventilationsfläktar, distributionspumpar för värme- och cirkulationssystemet, belysning i trapphus, gården, andra gemensamma utrymmen och utomhus samt till hissar. Fastighetsel används bla för att transportera värme mellan olika delar i byggnaden. El till tvättstugor mäts separat.

Totalt används ca 255 MWh för dessa ändamål. Då den dominerande delen av fastighetselen används till fläktarbete, indelas totalt tillförd fastighetsel i fläktel och övrig fastighetsel.

4.2.6 Fastighetsel, Fläktar

En elmätare registrerar summa elenergi till fläktarna och värmepumpen och en annan mätare registrerar el till enbart värmepumpen. Fläktel beräknas ur skillnaden mellan dessa två elmätare. Fläktel avser då el till fläktrummet ovanför glasgården och innefattar även viss el till belysning och pumpar i fläktrummet, som dock är mycket liten i jämförelse med elenergin till fläktarna. Fläktarnas totalt installerade effekt uppgår till ca 32 kW (märkeffekt). Drygt hälften av denna avser kontorens ventilationssystem.

Drifttider för fläktaggregat registreras också via mätutrustningen. De olika aggregatens effekter har beräknats ur skillnaden mellan totalt uppmätt fläktel då de olika fläktaggregaten är i drift var för sig respektive ej i drift. Fördelningen av elenergi till de olika aggregaten har sedan framräknats utifrån beräknade effekter och uppmätta drifttider.

Totalt åtgår ca 96 MWh fläktel under 1987. Av 55 MWh fläktel till kontoren är ca 21 MWh el till frånluftsfläkten. Värme från frånluftsfläkten tillförs glasgården då kontorsluften tillförs gården.

Tabell 4.1 Användning av fläktel under 1987

Användning	Energi MWh	Energi/yta kWh/m ²
Gårdscirkulation	9	1.4 BRA _T
Cirkulation genom undercentral	20	3.0 BRA _T
Kontorsventilation	55	19.1 BRA _K
Bostadsventilation	12	3.2 BRA _B

4.2.7 Fastighetsel, övrigt

Övrig fastighetsel innefattar belysning i gården och trapphus samt el för att driva de flesta pumpar i värme- och ventilationsanläggningen. Även el till cirkulationsfläktar för hålbjälklagen, hissar och till ytterbelysning samt motorvärmare ingår i övrig fastighetsel.

Energianvändning till "Övrig fastighetsel" beräknas som en skillnad mellan uppmätta värden från en huvudmätare och fyra undermätare. Delposterna i övrig fastighetsel mäts inte separat utan har uppskattats utifrån beräknade drifttider och effekter. Installerad effekt för övrig fastighetsel uppgår till ca 130 kW inklusive 50 kW för tvättstugorna.

Vid redovisningen av köpt energi till hela fastigheten har el till bostädernas tvättstugor medtagits i posten övrig fastighetsel.

Gårdsbelysning

Den största delen av elenergin för belysning är belysningen av gården. Användningen är inte direkt uppmätt utan beräknad utifrån installerad effekt och drifttider.

Den sammanlagda installerade effekten för belysning av glasgården och trapphusen uppgår till ca 13 kW. Av den totala effekten används ca 4 kW till växtbelysning och ca 9 kW till loftgångsbelysning. Belysning till gården styrs av ljusbehovet, dvs om inkommande dagsljus understiger ett visst värde tänds belysningen automatiskt. I början av mätperioden fungerade inte detta som avsett pga ett felaktigt ljusrelä.

Då glasgården är överbyggd med tak och endast har vertikala glasytor antas ljusbehovet i byggnaden vara större än om inte glasgården funnits. Då värmetillskottet från gårdsbelysningen är betydande måste detta beaktas vid bedömningen av glasgårdens energitekniska funktion.

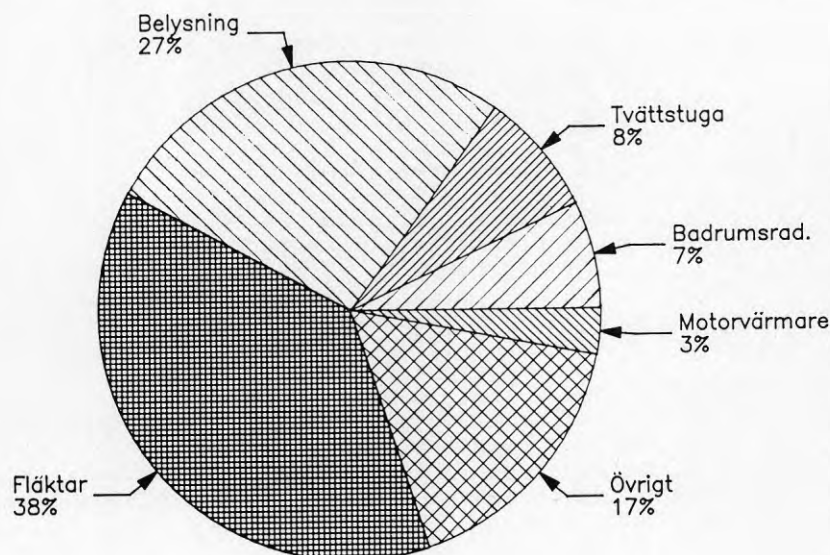
Mätutrustningen registrerar intensiteten på solinstrålning till byggnaden. I analysprogrammet har ljusbehovet till gården beräknats via en villkorspunkt. Utifrån antal timmar då den uppmätta solinstrålningen understiger mätvärdet 100 W/m² beräknas gårdsbelysningens driftid. Det erhållna antalet timmar multipliceras med den installerade belysningseffekten och ger därmed belysningens värmetillskott till gården. Totalt har belysningel beräknats till mellan 60 och 70 MWh för hela kalenderåret. Detta motsvarar en driftid på mellan 4600 och 5400 timmar.

Motorvärmare

El till motorvärmare mäts inte direkt. Mätvärden från Kv Höstvetet i Hagsätra söder om Stockholmen, indikerar en genomsnittlig användning av 1 kWh/dygn och lägenhet under perioden Oktober -- April. Detta motsvarar ca 9 MWh för Kv Bodbetjänten om förhållandena i övrigt är lika.

Pumpar, Hissar och ytterbelysning

Posten "Övrig fastighetsel" minskad med delposterna gårdsbelysning, elradiatorer och motorvärmare ger en restpost som omfattar pumpar, hissar, ytterbelysning mm. Denna energi, sammanlagt drygt 40 MWh uppgår till ca 6 kWh/m² BRA_T och år.



Figur 4.4 Procentuell fördelning av total fastighetsel på 255 MWh till hela byggnaden under 1987. Fördelningen omfattar både kontoren och bostäderna. Det kan noteras att el till badrumsradiatorer och motorvärmare inte ingick i förhandsberäkningarna.

4.2.8 Elvärme, Kallrasskydd

Kallrasskydden består av elradiatorer i kontorsdelen placerade under varje fönster med en total installerad effekt på 20 kW. Elenergi till kallrasskyddet mäts separat. Radiatorerna är inte i första hand avsedda för uppvärmning utan avsedda att förhindra kallras från fönstren vid utetemperaturer lägre än +5 °C.

Totalt har ca 56 MWh (ca 20 kWh/m² BRA_K och år) el använts till kallrasskydden under 1987. Detta ger en utnyttjningstid för den installerade effekten på ca 2800 timmar.

Kallrasskydden kan betraktas som direktverkande elvärme och utgör tillsammans med elradiatorerna i bostädernas badrum drygt 15 procent av totalt tillförd värme under 1987. Tillsammans med energianvändning till radiatorerna i badrummen i bostadsdelen tillförs drygt 70 MWh direktverkande elvärme per år, motsvarande ca 11 kWh/m² (BRA_T) och år.

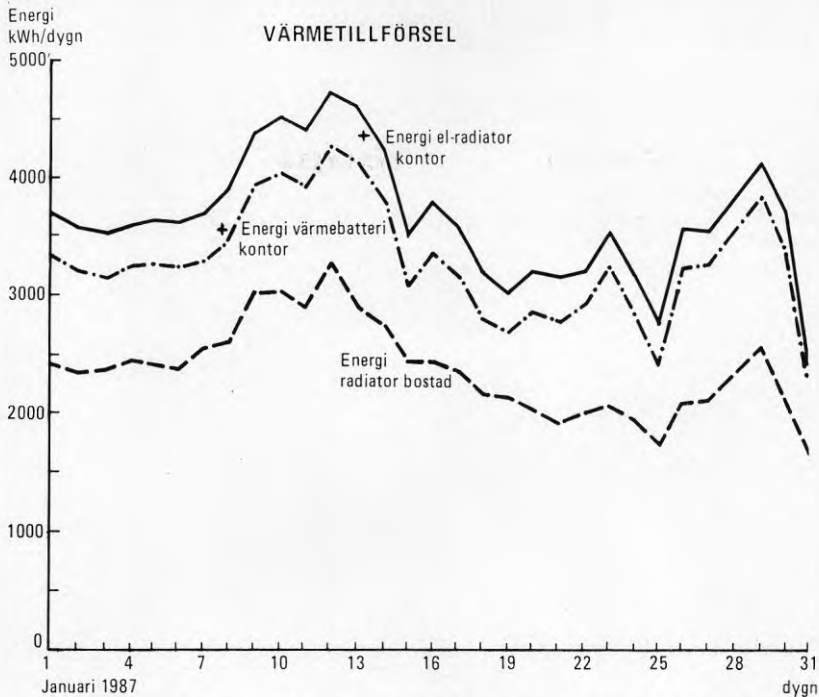
4.2.9 Tillförd vätskeburen värme

Vätskeburen värmeförsörjning avser värme till bostäderna via konvektorer och till kontoren via ett värmebatteri i tilluftsaggregatet. Värme i form av elenergi tillförs, som nämnts, även via kontorens kallrasskydd. Övrig tillförd värme via sol, personer och sekundärt via installationer redovisas inte i detta avsnitt.

Vätskeburen energi till bostäderna beräknas utifrån uppmätt cirkulationsflöde och temperaturdifferens mellan fram- och returledning. Energi till kontorens värmebatteri beräknas på motsvarande sätt. Totalt tillförs ca 460 MWh värme under året, inklusive 56 MWh el till kallrasskydden.

Skillnaden mellan avgiven värme från elpannan och värmepumpen och den värme som faktiskt tillförs konvektorsystemet och tillufts batteri består av värmeförluster i undercentralen och från rörsystemet. Dessa har till största delen tillförts gården och på detta sätt tillgodogjorts som värme under uppvärmningssäsongen.

Värmeförsörjningen redovisas dygnsvis under januari 1987 i figur 4.5.



Figur 4.5 Visar värmetillförsel till Kv Bodbetjänten under januari 1987 som dygnsmedelvärden.

4.2.10 Tappvarmvatten

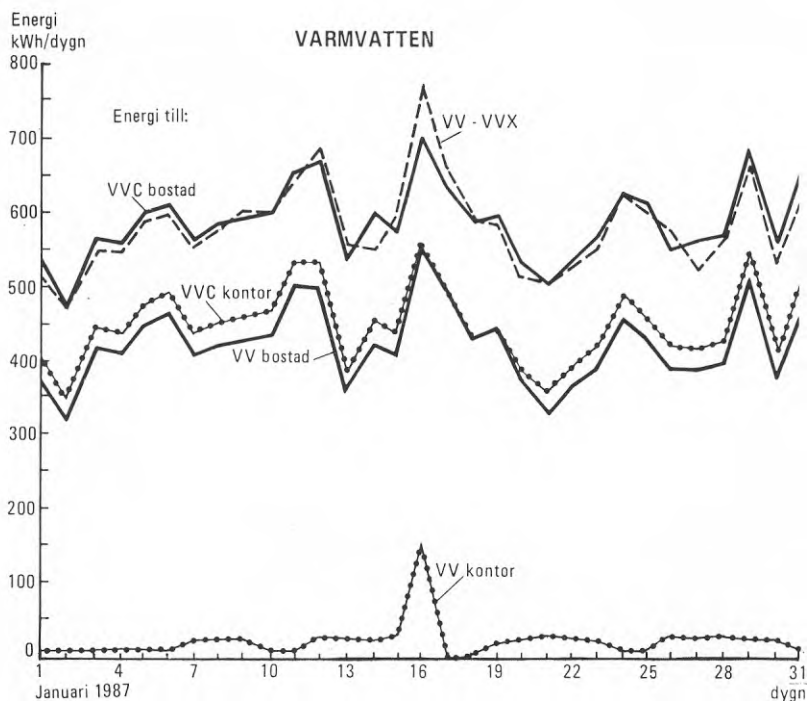
Med tappvarmvatten menas direkt uppmätt varmvattenförbrukning för kontoren respektive bostäderna. Redovisningen innefattar även energianvändningen för varmvattencirkulation - VVC (figur 4.6). Förbrukningen redovisas månadsvis för kalenderåret 1987 och som dygnsmedelvärden under en vintermånad.

Användningen av energi för att värma inkommande kallvatten till tappvarmvatten har beräknats utifrån uppmätt vattenflöde och temperaturdifferens på inkommande kallvatten och utgående tappvarmvatten i undercentralen. Energi till varmvattencirkulationen har beräknats utifrån uppmätt cirkulationsflöde och temperaturdifferens mellan utgående tappvarmvatten och cirkulationskretsens returvatten.

Under 1987 användes totalt ca 160 MWh energi för beredning av tappvarmvatten. En jämförelse mellan kontoren och bostäderna visar att varmvattenförbrukningen, inklusive VVC, i kontoren uppgår till ca 45 MWh. Det kan noteras att i kontoren är energi-

användningen till varmvattencirkulation av samma storleksordning som användningen av energi till tappningen.

En jämförelse med kontorslokaler i Kv Kastellholmen 16 och Kv Köpmannen 5 i Göteborg, visar att varmvattenanvändningen i Bodbetjäntens kontorsdel är högre än i dessa. I Bodbetjänten åtgår ca 16 kWh/m² och år för varmvattenberedning. I Kastellholmen och Köpmannen åtgår 4 respektive 11 kWh/m² och år (Sundbom L, et al 1987).



Figur 4.6 Användning av energi för varmvattenberedning och VVC i kontoren och bostäderna i januari 1987. VV-VVX avser totalt uppmätt energi för beredning av tappvarmvatten.

4.2.11 Effekter

Under vintern 1987 rådde extremt låga utomhus-temperaturer mellan den 9:e och 14:e januari, ca -24°C som lägsta dygnsmedelvärde. Detta gav bra möjligheter att studera effektbehoven för värmetillförseln. Som framgår av figur 4.5 tillfördes mest värme natten till måndagen den 12:e januari.

Tillförd effekt som dygnsmedelvärde under det kallaste dygnet uppgår till ca 125 kW till bostäderna och drygt 60 kW till kontoren varav ca 20 kW till kallraskydd. Tillförd dygnsmedeleffekt för tappvarmvattenberedning uppgår till knappt 30 kW.

Tabell 4.2 Visar installerad effekt och utnyttjad effekt som dygnsmedelvärden för uppvärmning och tappvarmvatten under det kallaste dygnet 1987.

<u>Vätskeburen</u>	Uppmätt effekt, kW	Install. effekt, kW
Värme till bostäder	125	98
Värme till Kontoren	40	67
Varmvatten	30	40
Summa	195	205
Elpanna	100	115
Värmepump (ut)	70	90
Summa	170	205
<u>Elvärme</u>		
Elradiatorer i bostäderna	—*	15
Kallrasskydd i kontoren	20	20
Totalt	190	240

* El till radiatorer i bostäderna har inte mätts

Totalt tillförd värme, inklusive sekundärt tillskott, motsvarar då 41 W/m^2 för hela byggnadens bruksarea. Högsta tillförda dygnsmedeleffekt till kontoren via elradiatorer och värmebatteri uppgår till 21 W/m^2 .

4.3 Värmetransport inom byggnaden

En viss mängd av den värme som tillförs byggnaden kan återvinnas inom systemet eller överföras till andra delar av byggnaden. Den överförda värmen kan tillföras till tappvarmvattenberedning och uppvärmning.

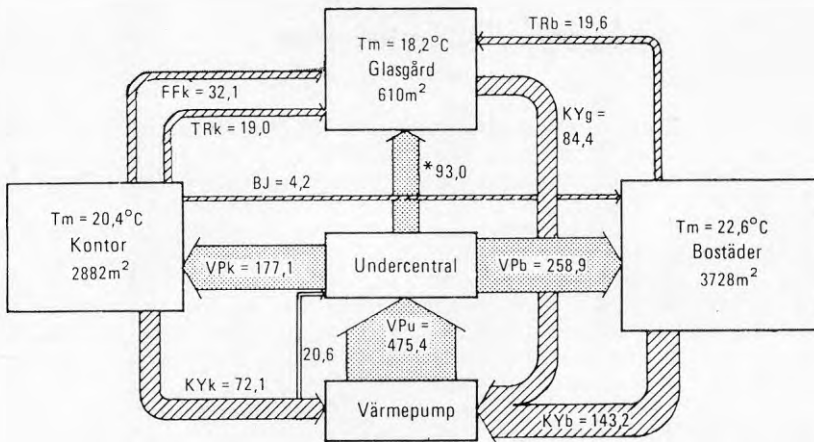
Med återvunnen energi menas huvudsakligen värme, utvunnen via värmepumpen, från kontorens och bostädernas frånluft samt värme från glasgården. Dessutom kan värme utvinnas ur tilluften till kontoren under sommaren.

Den återvunna energin tillförs kontoren via värmebatteriet i tilluftskanalen och bostäderna via konvektorsystemet. Beredning av tappvarmvatten sker gemensamt för de bägge enheterna.

Värme kan även på andra sätt överföras mellan olika delar av byggnaden. Värme överförs bl.a. från undercentralen och intilliggande varma byggnadsdelar till glasgården. Värme överförs även till glasgården från kontoren via från- och cirkulationsluft. I viss mån kan denna värmeöverföring betraktas som återvunnen energi. Under sommarperioden då inget behov av värme finns kan dessa tillskott dock ge upphov till önskat höga temperaturer.

Värme kan också överföras via cirkulation av kontorsluft genom bostädernas bjälklag. Varm luft från undercentralen kan också cirkulera i bostädernas bjälklag.

VÄRMETRANSPORT INOM BYGGNADEN



* Summa förluster från undercentralen som tillförs gården

Figur 4.7 Figuren visar hur värme kan transporteras inom byggnaden. Förklaringar till beteckningar ges i bilaga 1.

4.3.1 Energi via värmepumpen

Värmen från värmepumpen tillförs systemet för uppvärmning och tappvarmvattenberedning. Under sommaren finns även möjlighet att "dumpa" värme via ett kylelement på byggnadens tak.

Förutom elenergin till värmepumpen beräknas den vätskeburna energin i köldbärarkretsarna utifrån uppmätt vätskeflöde och temperaturdifferenser. Köldbärare är glykolblandat vatten. För att kunna beräkna den vätskeburna energin med tillräcklig noggrannhet har därför vätskeblandningen analyserats vid olika tillfällen med avseende på typ och halt av glykol.

Totalt tillför värmepumpen ca 480 MWh under 1987. Av detta utgör ca 210 MWh elenergi till kompressorn. Den största delen av värmen till pumpen hämtas direkt från bostädernas och kontorens frånluft, ca 210 MWh. Tillskottet från kontorens frånluft uppgår endast till ca

70 MWh då endast ett mindre frånluftsflöde från kontorens toaletter kyls via värmepumpen. Resterande 140 MWh fås från bostädernas frånluft.

Ytterligare ca 85 MWh värme hämtas från glasgården. Gårdsluften kan cirkuleras genom ett kylbatteri som är placerat i fläktrummet ovanför gården. Energi från kylbatteriet mäts på vätskesidan, dvs på värmepumpens brinekrets.

Vintertid styr temperturnivån i gården utvinningen av värme. Temperaturen i gården ska då inte understiga +8 °C. Under sommarhalvåret är gårdskylningen avstängd.

Kylning av tilluften till kontoren har varit begränsad till ca 1 MWh under hela sommarperioden 1987. Detta ger ett specifikt kylbehov via värmepumpen på drygt 0,4 kWh/m² och år. Det låga behovet av "aktiv" kyla beror huvudsakligen på att kontoren även kan kylas av natt- och gårdsluft. Belastningen av kontoren bedöms också ha varit relativt låg.

Ca 20 MWh förloras som värmeförluster från värmepumpssystemet under 1987, varav av den största delen under sommarhalvåret då förlusterna inte kan nyttiggöras. Den totala värmefaktorn som medelvärde för hela året uppgår till ca 2.3. och 1.6 under sommaren.

Effekter och utnyttjningstider

Den installerade effekten hos kylbatteriet i frånluftskanalen är 32 kW, vilket ger en utnyttjningstid på ca 6500 timmar som är mycket bra. Batteriet för kylning av gårdsluften är dimensionerat för en kapacitet av 25 kW och har en utnyttjningstid på ca 3400 timmar.

Kylbatteriet i tilluftskanalen till kontoren har dimensionerats för 25 kW. Utnyttjandetiden av den installerade kyleffekten hos värmepumpen som kylmaskin utgör ca 40 timmar, motsvarande full kyleffekt under fem arbetsdagar.

4.3.2 Energi till och från glasgården

Energi till glasgården består huvudsakligen av värme från undercentralen, transmissionsvärme, gårdsbelysning, värme från kontoren och solvärme. Den tillförda värmen via lufttransport innefattar även värme från fläktarbetet.

Värme från undercentralen

Akkumulatorer och andra installationer i undercentralen, som pumpar, elpanna och rörledningar har relativt höga temperaturer och avger därför en avsevärd mängd värme i byggnaden. Via ventilationssystemet kan en stor del av denna energi tillgodogöras som värme till gården från undercentralen och fläktrummet.

Totalt visar mätningarna att ca 50 till 60 MWh per år tillförs gården från undercentralen. Till fläktarbete för att cirkulera luft genom undercentralen åtgår ca 20 MWh.

Värmetillförseln från undercentralen sker i stort sett konstant under året med en medeleffekt av 6 kW till 8 kW inklusive fläktel.

För att överföra värme från undercentralen till glasgården cirkuleras gårdsluft genom undercentralen via ett fläktaggregat. En stor del av denna värme skulle kunnat tillvaratas utan luftcirkulation via direkt värmeöverföring genom bjälklaget. Detta skulle dock vara en förhållandevis okontrollerad värmetillförsel.

Värme från undercentralen till glasgården beräknas ur temperaturdifferansen mellan temperaturen i luftflödet från undercentralen och gårdsmedeltemperaturen. Luftflödet mäts i ventilationskanalen mellan gård och undercentral. Temperaturen i luften från undercentralen mäts i en punkt i det utgående luftflödet efter fläktaggretatet varför även fläktenergin innefattas i det beräknade energiflödet.

Värme från undercentralen kan också tillföras den västra delen av bostäderna via hålbjälklagen, ca 2 MWh till 3 MWh under 1987, men utgör endast en ringa del den totalt nyttigjorda värmen från undercentralen.

Transmissionsvärme till gården

Värme till gården från bostäderna och kontoren tillförs bla via transmission, dvs värmetransport genom de ytor/väggar som angränsar till glasgården. Dessutom kan värme tillföras via läckluft genom de fönster och dörrar som öppnas mot gården, trots att undertryck i lägenheterna motverkar detta.

Glasgårdens möjlighet att tillvarata transmissionsförluster står i förhållande till temperaturskillnaden mellan gården och angränsande byggnadsvolymer samt väggarnas och fönstrens värmegenomgångskoefficient. Detta betyder att desto mer gården tillförs värme från andra värmekällor, desto mindre utnyttjas transmissionsvärme från intilliggande varma utrymmen. På

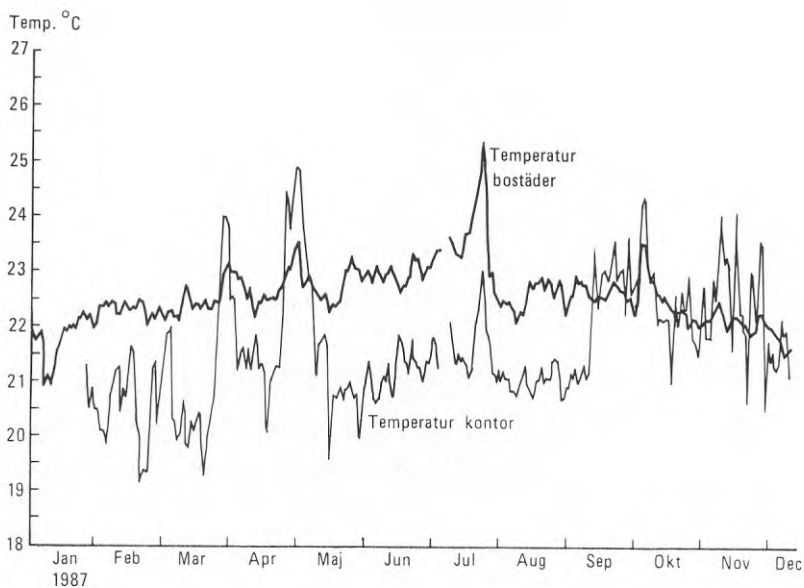
detta sätt konkurrerar olika funktioner med varandra.

Luftburen energi via läckflöde från fönster och dörrar är mycket svår att mäta och bedöms vara av ringa storlek, varför endast transmissionsvärme redovisas.

Den totala vägg- och fönsterytan mot glasgården är ca 1100 m². Av denna yta är 420 m² vägg- och fönsteryta mot kontoren och resten mot bostäderna. Den del av gården som angränsar mot kontoren har större andel fönsteryta än mot bostäderna.

Den genomsnittliga värmegenomgångskoefficienten för fönster och väggar mot kontoren beräknas till ca 1.8 W/m², °C och för bostadsdelen till ca 0.8 W/m², °C. Totalt U*A värde för hela vägg- och fönsterkonstruktionen uppgår till ca 1300 W/°C.

Temperaturer mäts i 15 punkter på 4 nivåer i gården. Vid energiberäkningar används medelvärdet av dessa temperaturer. Temperaturer i bostäderna mäts i 14 lägenheter samt i 4 punkter i gemensamma frånluftskanaler. Temperaturen i kontoren mäts i två punkter på vardera våningsplanet. Även här används medelvärden vid energiberäkningar. Utomhustemperatur mäts på byggnadens norrfasad.



Figur 4.8 Dygnsmedelvärden av temperaturer i kontoren och bostäderna under kalenderåret 1987.

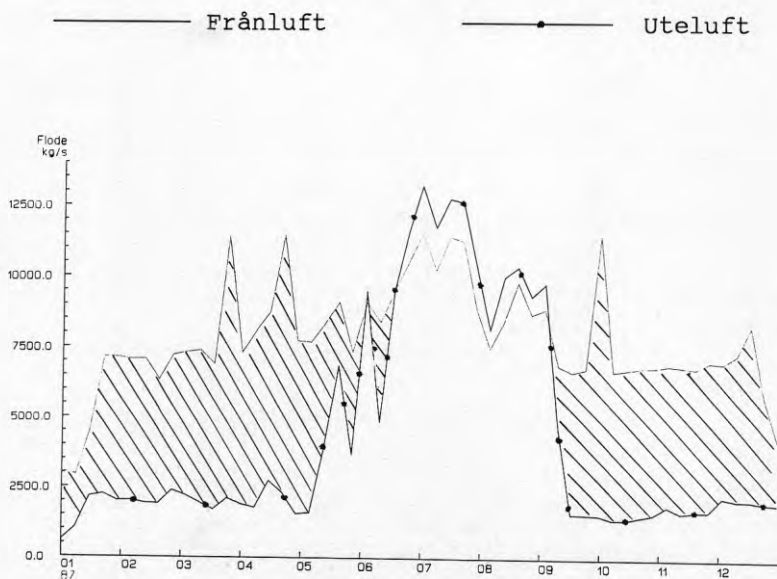
Temperaturen i kontoren har varit lägre än i bostäderna, ca 3 °C i genomsnitt. Temperaturskillnaden mellan gården och bostäderna har varit ca 5 °C i medeltal under uppvärmningsperioden (870515--870915). Mellan gården och kontoren har skillnaden varit ca 2 °C. Trots kontorens väggkonstruktion med stora fönster mot gården har därför bara hälften av transmissionsvärmén till gården tillförts från kontoren.

Totalt har mellan 30 och 40 MWh tillförts glasgården i form av transmissionvärme under uppvärmningssäsongen 1987.

Värme från kontoren till glasgården

Förutom värmeöverföring från kontoren via bostädernas hålbjälklag är energiflödet från kontoren till glasgården avgörande för att uppnå kombieffekten.

Under uppvärmningsperioden, 15 september till 15 maj och under kontorstid, cirkuleras kontorsluft genom glasgården. Huvudspjället till kontorens uteluftsintag är då normalt helt stängt. En mindre del uteluft, under 1 omsättning, tillförs via det uppstolpade yttertaket.



Figur 4.9 Visar från- och uteluftsflöden i kontoren som veckomedelvärden under 1987. De streckade fälten visar andelen kontorsluft som cirkuleras genom gården under uppvärmningsäsongen.

Frånluftsfläkten evakuerar luften från kontoren och tillför denna till gården via två don i gårdens tak. Motsvarande flöde återförs från gården till kontoren via frånluftdon i gården. Flödet mäts i två punkter i anslutning till takdonen i gården och är under normala driftförhållanden ca 14 000 m³/h. Detta flöde motsvarar ca två omsättningar gårdsluft per timme i kontoren.

I glasgården blandas den cirkulerande kontorsluften med inläckande uteluft och läckluft från bostäderna. Kännedom om hur mycket återluften till kontoren uppblandats med ute- och avluft är väsentligt för att beräkna energibalansen över gården. Att luften blandas i gården har bla uppmärksammats genom att det under vissa eftermiddagar uppstår problem med matos i kontoren.

För att beräkna andelen återluft till kontoren har därför spårgasmätningar utförts i glasgården och i fläktrummet. Mätningarna gjordes under uppvärmningssäsongen 1988. Dessa redovisas i bilaga 2. Spårgasmätningarna påvisar att återluften till kontoren utgör 65 till 80 % vid stabila förhållanden, då utelufts-spjället till kontoren är stängt. Hänsyn har tagits till uteluftsflödet via det uppstolpade yttertaket.

De övriga 20 till 35% består då av till gården inläckande uteluft och/eller läckluft från bostäderna samt uteluft via det uppstolpade yttertaket. Utläckande luft från gården kan också ersättas med uteluft direkt till kontoren om det är övertryck i glasgården och undertryck i kontoren. Det kan även förekomma olika tryckförhållanden på olika nivåer i gården.

Förhållandet mellan mängden ute- och bostadsluft som tillförs kontoren via gården har inte kunnat fastställas. Det betyder att det inte med säkerhet går att säga om det tillförs uteluft till kontoren via glasgården. Till följd av detta finns risk att omsättningen av uteluft i kontoren kan vara relativt låg.

Utifrån resultaten av spårgasmätningen antas vid energiberäkningar att 75% av flödet till gården återförs till kontoren och 25% bortförs som avluftsflöde. Energiinnehållet beräknas ur massflödet, luftens temperatur till och från den enhet som betraktas samt luftens värmekapacitet vid aktuell temperatur.

Temperaturnivån på den till gården tillförda kontorsluften mäts vid tilluftsdonen i två punkter i vardera kanalen. Temperaturerna mäts efter fläktaggregatet och därför ingår värmen från fläktarbetet i detta energiflöde.

Under 1987 har således beräknats att ca 30 MWh värme överförs till gården från kontoren. Den överförda värmen ska jämföras med den fläktenergi, drygt 20 MWh, som åtgår för att cirkulera kontorsluften genom gården.

4.3.3 Värmeöverföring via hålbjälklagen

Genom termodecksystemet, luftkanalerna i bostädernas bjälklag, kan kontorsluft cirkulera och värme överförs från kontoren till bostäderna. Totalt mätbar överförd överskottsvärme via hålbjälklagen under 1987 uppgår till ca 1 MWh.

Till detta kommer överförd värme från undercentralen som tillför värme via varmluftscirkulation genom ett särskilt hålbjälklag. Nästan 3 MWh värme har överförts från undercentralen till bostäderna på detta sätt.

De högsta effekterna för värmeöverföringen uppgår till ca 2 kW. Det ska jämföras med cirkulationsfläktarnas effekt på 2.5 kW.

4.4 Bortförd energi

Energi bortförs från byggnaden som värmeförluster genom väggar, fönster och tak samt via ventilationsluften. Dessutom bortförs en del som direkta elförluster tex ytterbelysning, motorvärmare och frånluftsfläktar. Även viss del av energin till tappvarmvatten bortförs direkt i form av avloppsförluster.

Det enda mätbara energiflödet från byggnaden är värme i från- och avluftsflöde via ventilationssystemet. Med avluftsflöde menas då bortförd ventilationsluft som ersätts med uteluft. Flöden från kontoren och bostäderna mäts separat. Energiberäkningen baseras på uppmätt flöde och skillnaden mellan temperatur på avluften efter återvinningsbatteriet respektive temperatur på frånluftsflödet före batteriet samt temperatur på uteluften.

Under 1987 har totalt ca 340 MWh, motsvarande 51 kWh/m² BRA_T och år, uppmätts som värme i bostädernas och kontorrens frånluft. Av detta återvinns ca 210 MWh via värmepumpen och 125 MWh bortförs med avluften.

Glasgårdens förluster uppgår till ca 165 MWh under hela året och har beräknats utifrån mätbar tillförd energi till gården minskat med tillvaratagen värme med värmepumpen.

I stort sett all hushållsel och el till kontoren betraktas som internt värmestillskott. Vad som kan tillgodogöras byggnaden som värme av tillförd fastighetsel är inte mätbart, men antas uppgå till ca 50% av totalt 255 MWh. Detta antagande bygger bl.a. på att en stor del av fläktvärmen (frånluftsfläktar) inte tillförs byggnaden någon värme. Dessutom ingår el till motorvärmare och ytterbelysning i posten fastighetsel. Det betyder att av tillförd el på tillsammans ca 450 MWh bortförs ca 130 MWh som icke värmegivande elförluster.

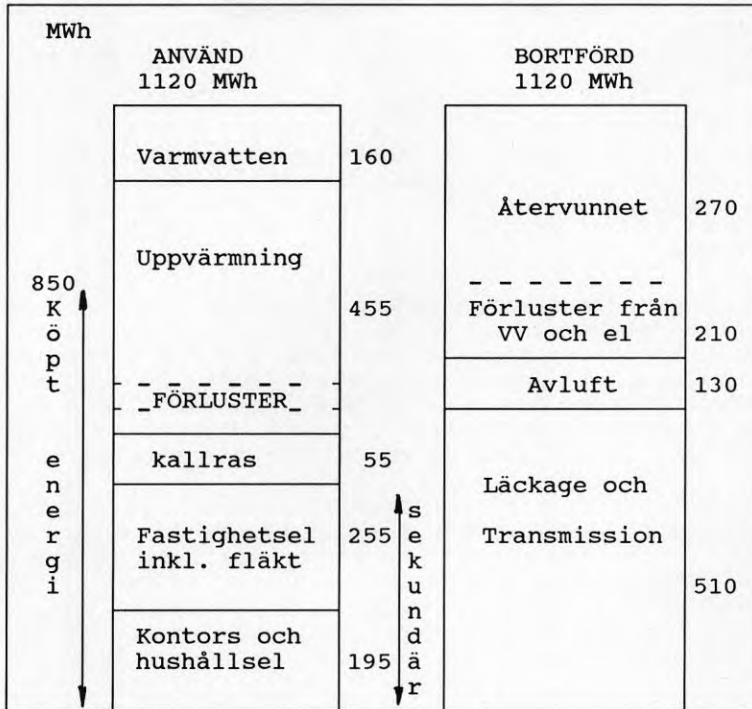
Av tillförd värme till varmvattenberedning, ca 160 MWh, antas 50 % bortföras som värmeförluster med avloppsvattnet och resten tillförs byggnaden som värme. Detta antagande baseras på mätningar av avloppsförluster i Kv Konsolen, en annan byggnad i Stockholmsprojektet. Tillsammans med direkta elförluster utgör då de icke värmeavgivande energiförlusterna ca 210 MWh, motsvarande $32 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_T$ och år.

Av den totala interna värmestillsförseln på ca 400 MWh, hänförs ca 190 MWh från hushållsel, ca 130 MWh från fastighetsel samt ca 80 MWh från varmvattenberedningen. Tillsammans ger detta ett internt värmestillskott motsvarande ca $60 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_T$ och år. Denna värme tillförs relativt konstant under året och bidrar till övertemperatur under sommaren se figur 6.1. Dygnsmedeltemperaturen i bostäderna varierar mellan 21°C under vintern och drygt 25°C under varma sommar-dygn.

Av tillförda 850 MWh köpt energi, har som nämnts, ca 130 MWh bortförts som värme i avluften (Se fig. 4.10). Detta energiflöde är uppmätt. De resterande energiflödena på bortförselsidan baseras på ovan beskrivna antaganden. Ca 130 MWh bortförs som icke värmeavgivande elförluster, ca 80 MWh som avloppsförluster och ca 510 MWh som luftläckage och transmissionsförluster.

Läckage och transmissionsförluster genom klimatskalet är proportionella mot skillnader i temperaturer inuti under mätåret. Värdet kan därför kompenseras mot de ansatta värdena för simuleringsberäkningen. 1987 hade 16 procent högre graddagssumma än simuleringsåret, baserat på klimatdata 1971. Temperaturen inomhus var dessutom ca 3°C högre än de som antagits vid beräkningarna. Om hänsyn tas till dessa skillnader skulle värdet på värmeförlusterna uppgå till ca 380 MWh jämfört med förhandssimuleringens beräkning på ca 340 MWh. Avvikelsen mellan mätresultatet och simuleringen uppgår då till mellan 10% och 15%.

Skillnaden mellan simuleringsvärden för värmeförlusterna och värden baserade på mätdata, kan alltså i stort förklaras av temperaturskillnader mellan simuleringsperioden och mätåret.



Figur 4.10 Använd energi i kontoren och bostäderna jämfört med bortförd energi under 1987. Ca 400 MWh beräknas tillföras som sekundär värme som bidrar till att täcka värmebehovet under året.

5 KÖPT ENERGI

I detta avsnitt redovisas användningen av köpt energi i Kv Bodbetjänten. Förutom energi för uppvärmning och beredning av tappvarmvatten ingår el till fläktar, övrig el till fastigheten såsom el till hissar och pumpar mm, el till kallrasskydd i kontoren, el till apparater mm i kontoren samt el till bostädernas hushåll.

Byggnadens användning av köpt energi har i ett tidigt skede av projektet beräknats med datorsimuleringar i programmen BRIS och DEROB. Resultaten från beräkningarna visar ett totalt årligt behov av köpt energi på $81 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ (BRIS) respektive $80 \text{ kWh/m}^2, \text{år}$ (DEROB).

Åtgångstalen för fastighetsel, hushållsel och tappvarmvattenberedning är inte beräknade i simuleringarna utan ingår som ingångsdata, men påverkar givetvis ändå resultatet. I indata till DEROB ingår inte ens någon särskild post för fastighetsel. Elanvändningen är genomgående underskattad i indata till dessa beräkningar, framförallt då det gäller fastighetsel.

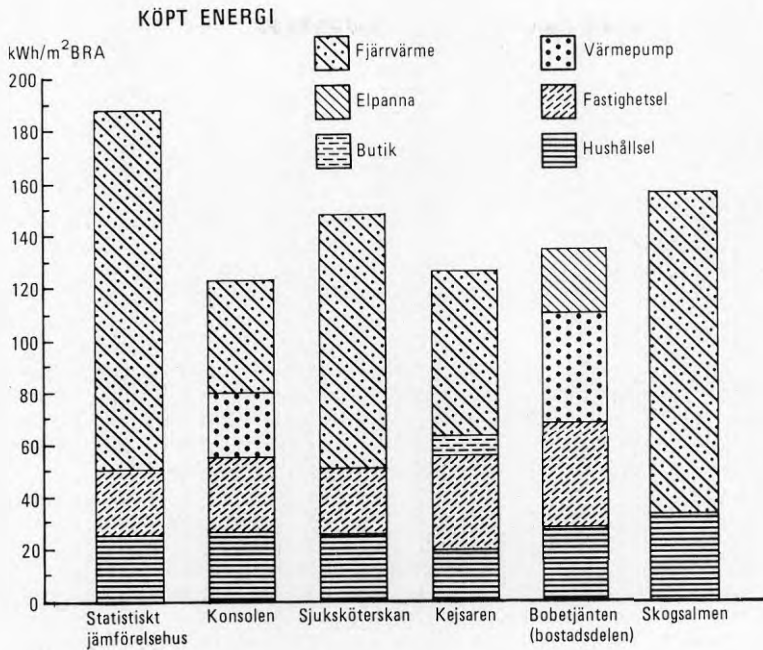
Resultaten från mätningarna visar att total köpt energi för 1987 uppgår till ca $129 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_T$. Detta gäller för den totala bruksarean inklusive kontoren och bostäderna, men exklusive gården (610 m^2). Köpt energi till kontoren uppgår till $112 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_K$ och till bostäderna $142 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_B$. Värdena är ej gradskorrigerade.

5.1 Totalt köpt energi

Den totala nivån på köpt energi är låg i förhållande till övriga hus i Stockholmsprojektet och jämförd med statistikuppgifter över energianvändning i flerfamiljshus. Orsaken är bl.a. att kv Bodbetjänten innehåller en stor andel kontorsyta som inte använder lika mycket energi som bostäder samt att värmepumpen bidrar till energiproduktionen.

Om köpt energi fördelas till kontoren respektive bostäderna, enligt nedan beskriven beräkning, kan energianvändningen jämföras med andra byggnader med värmepumpssystem.

Hur de olika experimentåtgärderna såsom planlösning, kombieffekt och glasgården påverkar energisystemet redovisas i separata avsnitt.

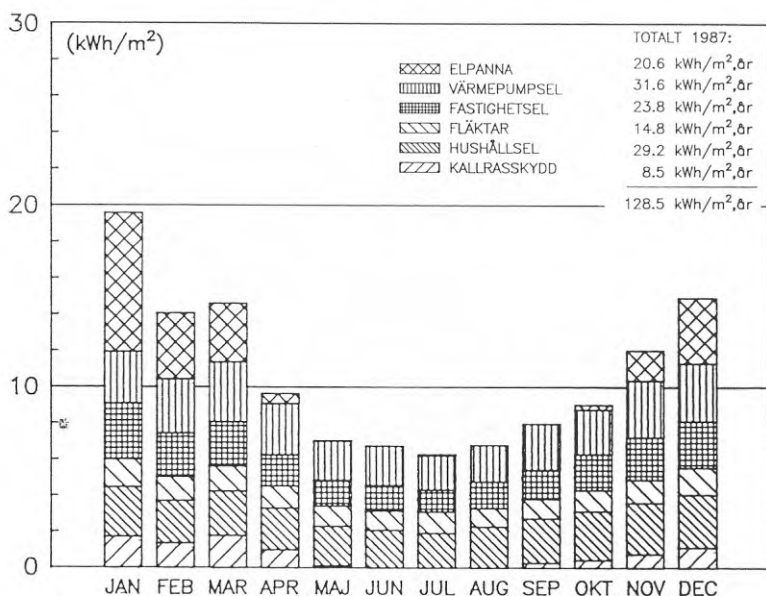


Figur 5.1 visar den totala mängden uppmätt köpt energi för fem av stockholmsprojektets hus, samt ett statistiskt jämförelsehus. För kv Skogsalmen ingår inte fastighetsel, men däremot elförbrukning till ventilationen.

I kv Bodbetjanten var energianvändningen 1987 större än 1986. 1987 var betydligt kallare än 1986 och korrigeringen för olika utetemperaturer ger troligen ett för litet utslag. Dessutom pågick inflyttningen till kontoren under 1986. Detta är huvudorsakerna till det högre värdet 1987.

Hur köpt energi fördelas månadsvis 1987 framgår av figur 5.2. Hushållsel och fläktel varierar ganska litet över året medan el till pannan och värmepumpen naturligt visar en kraftig variation över året i förhållande till utetemperaturen. Januari var ovanligt kall och elpannans månadsmedeleffekt var ca 70 kW och maximal timmedeleffekt 115 kW.

KÖPT ENERGI TOTALT 1987



Figur 5.2 visar totalt köpt energi under 1987 uppdelade på delposter och redovisade månadsvis. Värdena gäller för hela fastighetens area och är inte normalårskorrigerade. I "hushållsel" ingår även el till kontoren. I "fastighetsel" ingår el till tvättstugan.

5.2 Fördelning av köpt energi till kontor och bostäder

Användningen av energi i kontoren och bostäderna skiljer sig väsentligt. Energitekniskt består skillnaden främst av olika ventilationsbehov, användning av varmvatten, men även av olika temperaturnivåer. Dessutom finns skillnader i användningen av el till belysning och apparater mm. Under kalenderåret 1987 tillfördes hela systemet ca 850 MWh (ej graddagsjusterat), varav ca 530 MWh till bostadsdelen och ca 320 MWh till kontoren.

El till bostädernas hushåll och tvättstugor samt el till kontorens belysning, apparater och kallrasskydd är mätbara energier och kan direkt hänföras till respektive enhet. Dessa energiflöden redovisas även i avsnittet "tillförd elenergi".

Återstående fördelning av köpt elenergi till kontoren och bostäderna har indelats i energi från elpannan och värmepumpen, fläktel samt övrig fastighetsel.

5.2.1 Elpanna och värmepump

Fördelningen av värme, dvs omvandlad elenergi från pannen och värmepumpen till kontoren respektive bostäderna är inte direkt mätbar. Värmepumpens avgivna värme består både av köpt el och utvunnen värme från kontorens och bostädernas frånluft, glasgården och värme från uteluften. Den avgivna värmen från pannen och värmepumpen täcker gemensamt uppvärmnings- och varmvattenbehovet tillsammans med "gratis" internvärme och solvärme.

Vid vissa driftfall fungerar värmepumpen som en länk mellan kontoren och bostäderna. Värmepumpen kan återvinna energi ur bostädernas frånluft och värma kontorens tilluft samtidigt som bostäderna huvudsakligen värms av elpannan.

Den köpta energin fördelas således inte bara till de olika enheterna utan även mellan dem. Energiflöden mellan kontor och bostäder kan dock beräknas med kännedom om driftfall och användning.

Fördelningen av omvandlad elenergi från pannen och värmepumpen beräknas därför utifrån hur kontoren respektive bostäderna använder den totala värme som produceras i panna och värmepumpen. Beräkningen baseras på mätningar av varmvattenberedning, och tillförd värme till de olika enheterna.

Energitransporten inom byggnaden redovisas även i avsnitt "kombieffekt".

5.2.2 Fläktel till kontoren och bostäderna

Fläktel är inte heller direkt mätbara storheter. Hur "el till fläktar" ska särskiljas på respektive enhet är inte självklart. Bostäderna har ett frånluftssystem för ventilationen men utnyttjar även annat fläktarbete gemensamt med kontoren tex för cirkulation av kontorsluft i hålbjälklagen.

Kontoren har ett från- och tilluftssystem integrerat med luftvärme. Kontorens ventilationssystem har därför dimensionerats för att värma lokalerna. Installerad fläkteffekt till kontoren utgör ca 65 % av den totalt installerade fläkteffekten. Elenergi för fläktarbete till kontorens till- och frånluftsfläktar kan därför hänföras direkt till kontoren.

Drifttider för kontorens fläktar registreras. Med kännedom om fläktarnas effekter ger detta en möjlighet att beräkna specifik elenergi till kontorens fläktar. Resterande del uppmätt drivel till fläktar proportioneras på de olika enheterna efter Bruksarea.

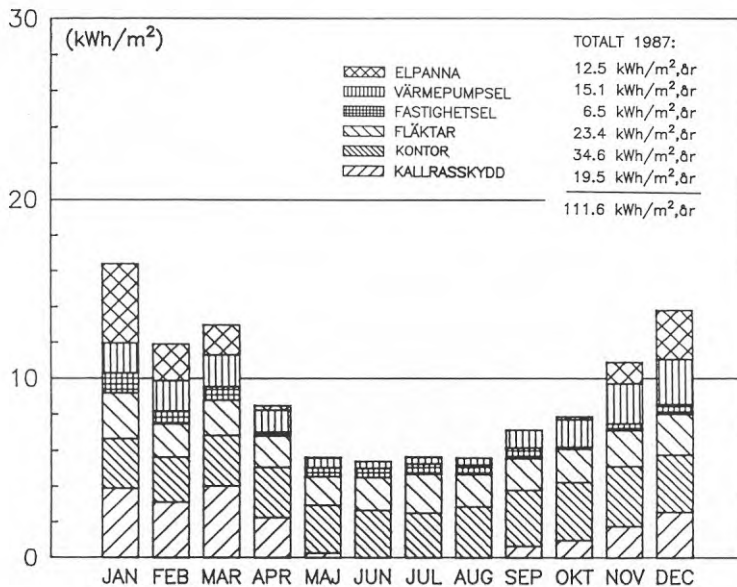
Detta ger specifik energianvändning per ytenhet på ca $23 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_K$ och år till kontoren och ca $8 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_B$ och år till bostäderna. Totalt till hela byggnaden åtgår knappt $15 \text{ kWh/m}^2 \text{ BRA}_T$ och år i form av fläktel.

5.2.3 Övrig fastghetsel

I övrig fastighetsel ingår gårdsbelysning, elradior i bostädernas badrum och motorvärmare. Dessa delenergier har hänförts till bostäderna. Resterande andel av övrig fastighetsel, el till pumpar och hissar, har fördelats utifrån kontorens och bostädernas bruksarea.

Fördelning av köpt energi till kontoren och bostäderna, per månad under 1987, redovisas i figur 5.3 och 5.4.

5.3 Köpt energi till kontoren



Figur 5.3 visar den uppmätta andelen av köpt energi till kontoren. Värdena avser kWh/m² BRA_K och år.

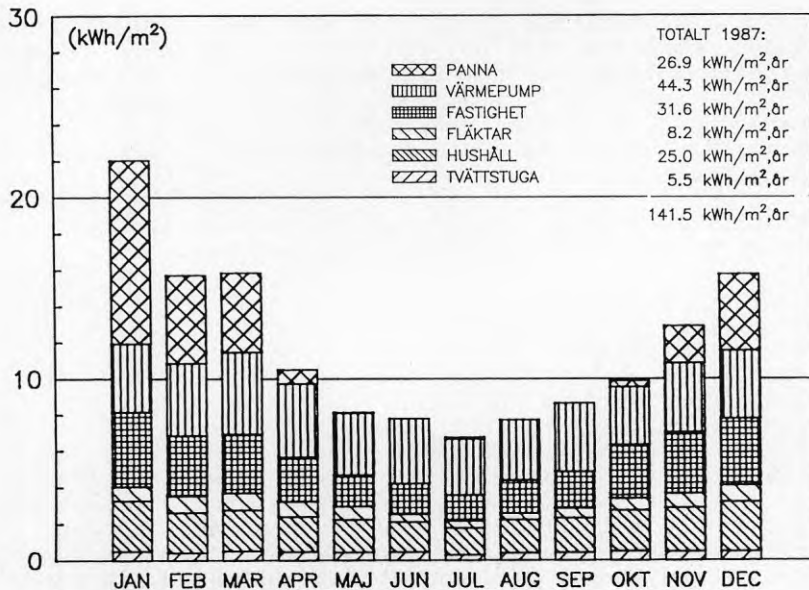
Nästan hälften av köpt energi för uppvärmning av kontoren består av direktverkande el, "kallrasskyddet".

Kontorsel, dvs el till kontorsmaskiner och belysning i kontoren, utgör den största enskilda energiposten som tillförts kontoren. Den största delen av denna energi kan tillgodogöras kontoren i form av värme under uppvärmningsperioden, men utgör en belastning under sommaren.

Endast en mindre del av gårdsbelysningen kan hänföras till kontoren, vilket ger ett relativt lågt behov av övrig fastighetsel till kontoren. Belysning för kontorens egen verksamhet ingår i posten kontorsel.

Den låga nivån på el till pannan och värmepumpen beror på kontorens ringa användning av varmvatten och det låga externa värmebehovet. En stor del av värmebehovet täcks av kontorens kallrasskydd och värme från belysning och apparater i kontoren.

5.4 Köpt energi till bostäderna



Figur 5.4 visar den uppmätta andelen köpt energi till bostäderna. Värdena avser kWh/m² BRA_B och år.

Per ytenhet använder bostäderna nästan 30% mer köpt energi än kontoren. Det är främst energianvändningen för uppvärmning och beredning av varmvatten som är högre i bostäderna.

I genomsnitt över året har bostäderna ca 2°C till 3°C högre inomhustemperatur än kontoren. Internt värmestillskott är dessutom lägre i bostäderna än i kontoren.

Pga av skillnaden i energianvändning och att kontoren till stor del värms med elradiatorer, används nästan tre gånger mer energi från pannen och värmepumpen i bostäderna jämfört med kontoren.

Då bostäderna har ett frånluftssystem är användningen av fläktel förhållandevis låg. Dock ingår bostädernas andel av elenergi till cirkulationsfläktarna till hålbjälklagen, i posten "övrig fastghetsel".

Den stora användningen av övrig fastighetsel har föranlett en noggrannare analys av vad fastsighetsel används till. Blä ingår motorvärmare i denna post. Dessutom ingår en stor del gårds- och trappbelysning, vilket ger relativt stor variation av fastighetsel över året.

Hushållsel varierar något över året med en nedgång under den ljusa årstiden pga mindre användning av belysning i lägenheterna. Lägenheterna antas också användas mindre under semesterperioder. Den ytspecifika användningen, 25 kWh/m^2 BRA_B och år, är i övrigt på samma nivå som i de andra byggnaderna i Stockholmsprojektet.

El till tvättstugan tillförs i stort sett konstant under året, med någon minskning under Juli.

5.5 Effekter

Det högsta värdena på uppmätt dygnsmedeleffekt för uppvärmning och varmvattenberedning uppgår till ca 230 kW under de mycket kalla januaridygnen 1987. Detta ska jämföras mot installerad effekt på sammanlagt 225 kW, varav 115 kW för elpannan, 90 kW uteffekt för värmepumpen och 20 kW för kallrasskyddet. Att den uppmätta effekten överstiger den installerade, beror på att effektuttaget tillfälligt kan höjas med hjälp av ackumulatortankarna.

Temperaturerna i bostäderna är stabila under kallperioden. Medeltemperaturen har varit ca 22°C till 23°C under hela året. För aktuell tidpunkt i Januari sjönk temperaturen endast till ca 21°C som dygnsmedelvärde.

Om internlasten i kontoren baseras på tillförd el till apparater och belysning ger detta en specifik dygnsmedeleffekt per ytenhet för hela året 1987 på ca 4 W/m². Denna effektanvändning är också jämn över året. Om dessutom hälften av den tillförda fläkteffekten ger ett internt värmetillskott uppgår medeleffekten till ca 5 W/m².

Om vi antar att persontätheten i kontoren är 1 person på 30 m² ger detta ytterligare ett värmetillskott på ca 10 W/m² under dagen. Tillsammans med kontorsutrustning, belysning och fläktel ger detta totalt ett internt värmetillskott på ca 25 W/m² eller ca 70 kW under kontorstid.

Elpannans huvudfunktion är att täcka behovet av spets-effekt under årets kalla del. Pannans effekt har utnyttjats knappt 1200 timmar under 1987, ca 14 % av hela året. Värmepumpens installerade effekt har däremot utnyttjats ca 6500 timmar, motsvarande 75 % av hela året.

Den installerade effekten i tvättstugan på 50 kW har utnyttjats ca 400 timmar under året, drygt 1 timme per dygn i genomsnitt.

5.6 Feluppskattning

Redovisade mätvärden på totalt köpt energi är sammansatt av 10 uppmätta och beräknade variabler. För de storheter som är uppmätta var för sig är mätfelen oberoende av varandra.

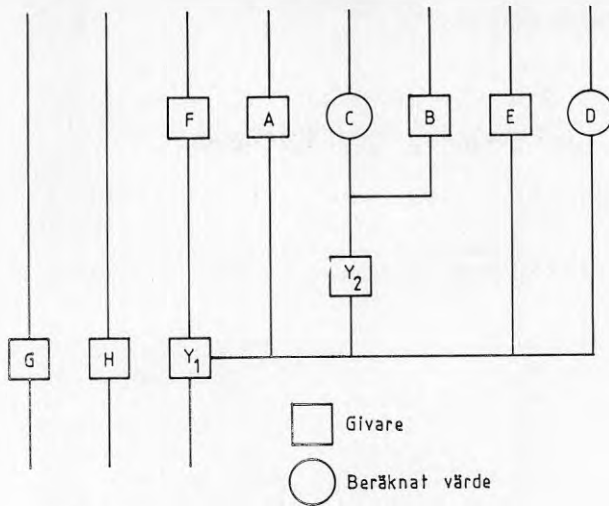
Vid summering av dessa storheter kommer de slumpmässiga felen hos varje delstorhet statistiskt sett att motverka varandra. Ett säkrare resultat erhålls därför vid mätning av flera delposter än vid mätning av totalt köpt elenergi med endast en mätare. Detta gäller om felet för varje mätning är procentuellt mot det mätta värdet.

Osäkerheten som fås vid feluppskattningen kan visserligen betraktas som relativt låg, men är av den storleksordningen att köpt energi med enheten kWh per m², bara kan anges med heltal.

Tabell 5.1 Max- och standardfel (Selin L-E, 1979) för totalt köpt energi för 1986 och 1987 samt maxfel för varje delenergi. Felen är beräknade på normalårskorrigerade absolutbelopp med enheten MWh.

Storhet (beteckn. fig 5.5)	1986		1987	
	Energi	Maxfel	Energi	Maxfel
Elpanna A	134.18	2.68	99.81	2.00
Värme p. B	169.22	3.15	203.59	2.96
Fläktar C	97.17	5.49*	97.83	6.16*
Fast.el D	130.35	9.34*	136.32	9.02*
Kallras E	56.85	1.14	56.19	1.12
Tvättst F	21.02	0.42	20.50	0.41
Kont.el G	144.10	2.88	99.72	1.99
Hush.el H			93.20	1.86
TOTALT	752.9	max/stand 15.1/12.5	807.7	max/stand 16.2/12.5

- * Fläktel och fastighetsel är beräknade utifrån skillnaden mellan uppmätta värden varför dessa delposter får relativt stora maxfel. Detta påverkar dock inte totalfelet. Standardfelet baseras på summan av tre givare (se figur 5.5).



Figur 5.5 visar principschema för mätning av köpt energi. G, H och Y_1 registrerar totalt köpt energi

5.7 Graddagskorrigering

Korrigering för skillnaden mellan antal graddagar för normalåret och mätåret har utförts på den del av el-distribuerad energi som åtgår för direkt uppvärmning av byggnaden, exklusive varmvattenberedning. Totalt vattenburen energi har minskats med användning av värme för varmvattenförbrukningen.

Tillförd värme har sedan dividerats med en faktor, som utgörs av kvoten mellan graddagstal för 1986 respektive 1987 och normalårets graddagstal. Graddagstalet för normalåret har erhållits från SMHI:s klimatdata-statistik. Skillnaden mellan mätår och normalår adderas till uppmätt värde på tillförd energi från pannan eller värmepumpen. Tillförd värme från värmepumpen har, då inte pannan tillför värme, dividerats med aktuell värmefaktor för att ge korregerat värde på köpt energi.

Värme till varmvatten samt elförbrukningar adderas sedan till den korregerade uppvärmningsenergin. Korrigeringen har gjorts månad för månad. Denna korrigeringsmodell har en hel del brister som märks alltmer ju energisnålare husen blir, eftersom en större del av värmebehovet då tillgodoses av de sk intern lasterna.

Korrigeringen av data har trots detta gjorts på angivet sätt, eftersom tillvägagångssättet är allmänt vedertaget i branchen.

6 KOMBIEFFEKT

I följande avsnitt redovisas resultaten av den sk kombieffekten, som ingår som en del av energiexperimenten. Kombieffekten innebär i första hand att överskottsvärme från kontoren kan nyttiggöras i bostadsdelen. Med andra ord, i vissa driftfall förväntas ett kylbehov i kontoren samtidigt som det finns ett behov av värme i bostäderna. Behovet av värme till glasgården beror också på vilken temperatur som önskas i gården.

Genom termodecksystemet, dvs luftkanaler i bostädernas betongbjälklag, kan kontorsluft cirkuleras genom bjälklaget och värme därmed överförs från kontoren till bostäderna. Via ett separat hålbjälklag kan dessutom varm luft från undercentralen överförs till bostäderna. Under kontorstid cirkuleras kontorsluft även genom glasgården, vilket också ger en möjlighet att ta till vara värme från kontoren för glasgårdens uppvärmning.

En av förutsättningarna för att överskottsvärme ska kunna överföras är kylbehov i kontoren. Det första steget i analysen av kombieffekten är då att fastställa kontorens kylbehov, dvs:

- När uppstår kylbehov?
- Hur stort är kylbehovet?

Lika viktigt är att det finns ett behov av värme och en teknisk möjlighet att överföra värme när värmeöverskott finns, alltså:

- finns vid kylbehov i kontoren samtidigt behov av värme i bostäderna och gården?
- finns det tillräcklig temperaturskillnad mellan kontoren och bostäderna/gården för att överföra värme?

Kontoren kyls både aktivt och passivt. Två av de aktiva sätten är via det beskrivna termodecksystemet i bostäderna och via luftcirkulationen genom glasgården. Dessutom kan tilluften till kontoren kylas med hjälp av värmepumpen.

Ytterligare ett sätt att kyla kontoren är att låta temperaturen sjunka under nätter och helger. Då kontoren värms med luftvärme fås en snabbare reglering.

Detta ger bra förutsättningar för att utnyttja temperaturskillnader mellan dag och natt. Denna teknik innebär att byggnadens värmekapacitet utnyttjas för att lagra värme från dag till natt.

Då kall tilluft tillförs kontoren hjälper det till att sänka temperaturen i kontoren nattetid. Det nedkylda bjälklaget och stommen kan då ackumulera värme dagtid, som sedan bortförs nattetid. På det sättet fungerar bjälklag och stomme som kylare.

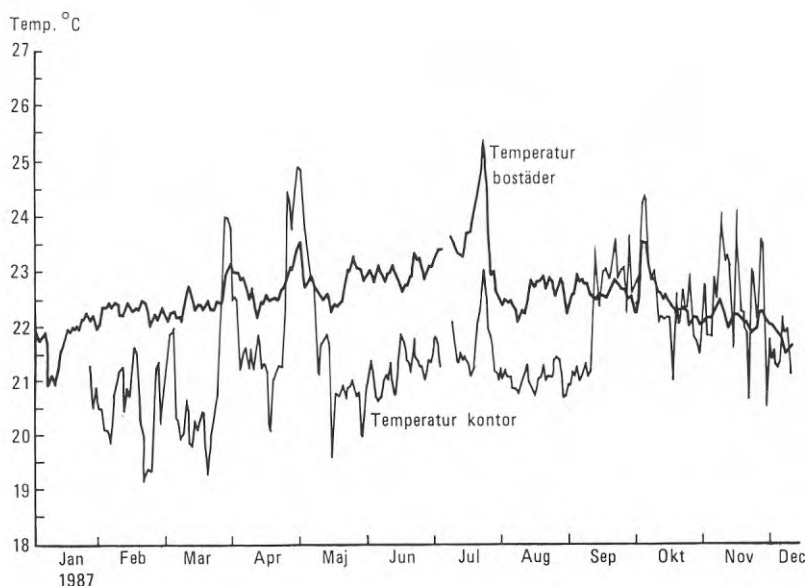
Genom att placera kontoren i norrläge, "skuggas" de av bostäderna, vilket reducerar tillskottet av solvärme till kontoren. Detta minskar således kylbehovet.

Totalt uppmätt överförd överskottsvärme via glasgård och hålbjälklag under hela 1987 uppgår till ca 4500 kWh, motsvarande 1-2 kWh/m² räknat på bostadsytan (BRA_B). Då ingår också mellan 1000 och 1500 kWh som bortförts från kontoren under Juli då värmepumpen fungerat som kylmaskin och kylt kontorens tilluft. Ca 1000 kWh är överförd värme via hålbjälklagen.

Då det totalt uppmätta aktiva kylbehovet är lågt bedöms effekten av den passiva kylningen, dvs norrläget, vara väsentlig.

6.1 Kombieffekt via hålbjälklagen

Om vi först betraktar kylning via bostädernas hålbjälklag, möjliggörs detta genom att uppnå en tillräckligt stor temperaturskillnad mellan kontorsluften och bjälklagen i bostäderna. Temperaturskillnaden är nödvändig för att värme ska kunna överföras.



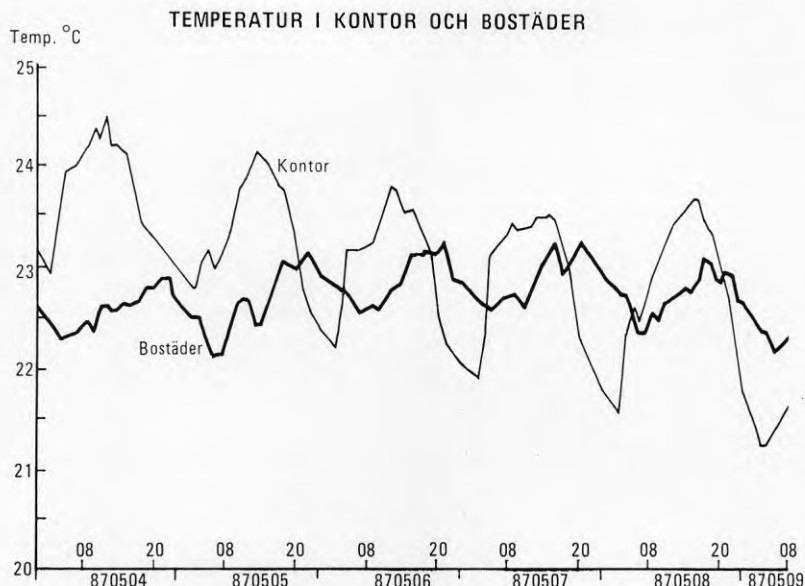
Figur 6.1. Diagrammet visar dygnsmedeltemperaturer i bostäderna och kontoren under 1987.

Temperaturen i bostäderna överstiger väsentligt kontorens. Temperaturen är också betydligt stabilare i bostäderna. I kontoren varierar nivån huvudsakligen beroende på driftfall. De låga temperaturer vi ser under mitten av februari och mars uppstår under helger och lov, pga minskad värmeförsörjning. Temperaturen påverkas naturligtvis också av låg utetemperatur.

Man kan tydligt se nedgången i januari. Temperaturen sjunker dock inte lägre än till ca 21 °C i bostäderna och ca 19 °C i kontoren. Det var också en kall period i början på mars med dygnsmedeltemperaturen utomhus på ca -14 °C.

Det är endast vid några få tillfällen som temperaturen i kontoren tangerar eller överstiger bostädernas temperatur under första halvåret. Detta beror i första hand på ökad tillförsel av värme via värmesystemet,

ibland i kombination med höga utetemperaturer. Denna kombination inträffar i slutet på mars och i månads-skiftet April-Maj. Den högre nivån från slutet av September beror huvudsakligen på ökad värmeförsel via värmesystemet.



Figur 6.2 Diagrammet beskriver temperaturer under 6 dagar i början på Maj.

Man kan notera att kontoren har en relativt låg temperatur under hela sommaren. Det visar att antingen kyla kontoren mycket effektivt eller så finns bara ett begränsat kylbehov eller en kombination av dessa faktorer.

Den mest intressanta perioden är månadsskiftet mellan april/maj. Temperaturen är då så hög i kontoren att det finns kylbehov. Vad orsakar den höga temperaturnivån och överförs värme till bostäderna via bjälklagen?

Perioden föregås av relativt hög värmeförsel till kontoren via värmesystemet. Därefter följer fem dagar med höga utetemperaturer med dygnsmedelvärden på 14 till 15 °C och 22 till 23 °C på dagen. Övertemperaturen i kontoren tycks i första hand bero på ett regeltekniskt problem. Hade det funnits möjlighet att förutspå värmeperioden, hade byggnadsstommen inte behövt vara lika uppvärmd vid periodens början.

Överförs nu någon värme via bjälklagen under denna period? Studeras perioden mer noggrant i form av timmedelvärden kan variationerna under dygnet fastställas. Det visar att temperaturskillnaden mellan kontoren och bostäderna endast uppgår till ca 1 °C.

Vid så små temperaturdifferenser måste mätvärden hanteras mycket försiktigt, trots att givarna i mätsystemet är noggranna. Just detta problem har påverkat möjligheten att överföra värme under perioden. För att få en bra reglering av cirkulationsluften genom bjälklagen måste det finnas en tillräckligt stor och representativ temperaturdifferens, som talar om för styrdatoren att den ska starta de fläktar som ska cirkulera luft genom bjälklagen.

Temperaturdifferensen måste vara så stor att den inte påverkas av givarnas precision eller hur givaren är placerad. Detta reglerproblem tycks ha fått som konsekvens att cirkulationsfläktarna inte varit i drift optimalt. Den högsta uppmätta kyleffekten via bjälklagen uppgick under våren 1987 till ca 400 W.

Det beskrivna reglerproblemet medför även en risk för att värme överförs åt fel håll, dvs från bostäderna till kontoren. För att minska denna risk ändrades driften efter sommaren 1987. Cirkulationen genom bjälklagen startades regelbundet under kontorstid för att "känna" om kontorsluften var varmare än bjälklagen. På det viset har överföringen av värme gjorts effektivare, vilket också verifierats av mätresultaten från hösten 1987. Högsta kyleffekten via bjälklagen ökade då till ca 2000 W.

Värme från undercentralen via hålbjälklagen är i samma storleksordning som den totala värmen från kontoren. Hålbjälklagens kyleffekt kan också jämföras med el-effekten till cirkulationsfläktarna, 2500 W.

Om temperaturen i bostäderna istället varit 20 °C som planerats, skulle detta givit en temperaturdifferens på ca 4 till 5 °C mellan kontoren och bostäderna under den aktuella perioden istället för ca 1 °C. Detta skulle ha medfört att den högsta kyleffekten kunnat uppgå till ca 5000 W.

Totalt har endast ca 1 MWh överförts från kontoren till bostäderna via hålbjälklagen under 1987. Det kan också vara intressant att nämna att ca 0.5 MWh dessutom överförts från bostäderna till kontoren under sommaren.

Det kan konstateras att det i normalfallet inte finns någon överskottsvärme i kontoren som kan utnyttjas för att värma bostäderna via hålbjälklagen. Endast under kortare perioder har temperaturen varit högre i kontoren än i bostäderna.

6.2 Kombieffekt via glasgården

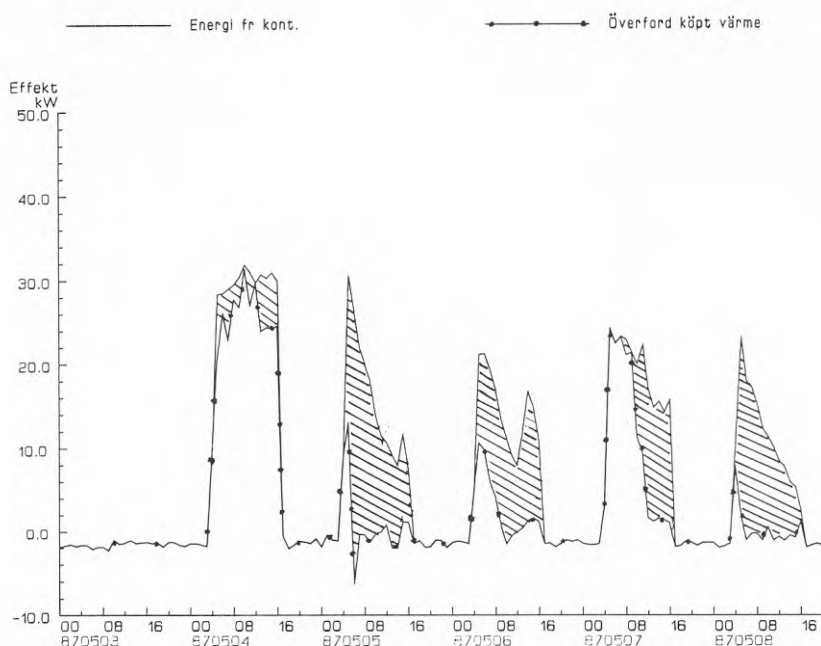
Det andra sättet att överföra värme från kontoren är att låta kontorens frånluft avge sin värme till gården. Den energitekniska effekten av luftflödet genom gården avgörs helt av om luften återförs till kontoren som återluft eller om den bortförs från gården som avluft. Bortförs frånluften från gården som avluft, kan den värme som avgivits i gården betraktas som tillvaratagna förluster från kontoren. Detta är då en kombieffekt.

Då detta driftfall endast körs under sommarperioden finns inget direkt behov av värmetillskottet från kontoren.

Under uppvärmningsperioden återförs luft från kontoren via gården, något uppblandad med inläckande uteluft och bostadsluft. Dessutom tillförs en del uteluft via det uppstolpade yttertaket. Den värme som då överförs till gården måste då relateras till den värme som måste tillföras den återförda luften. Måste återluften värmas med köpt energi kan visserligen värme ha överförts till gården, men då är det inte överskottsvärme utan köpt energi som överförts från kontoren.

Om luften endast cirkuleras är det också intressant att veta hur mycket av den transporterade värmen som består av värme från fläktarbetet.

Mätningarna visar att av totalt ca 30 MWh värme som överförts från kontoren till glasgården och bostäderna utgör endast ca 10 % överskottsvärme. En stor del av värmen från kontoren består av fläktvärme från kontorens frånluftsfläkt.



Figur 6.3 Den övre kurvan i diagrammet visar överförd värme från kontoren till gården under en vecka i Maj. Den undre kurvan visar hur mycket köpt värme som måste ersätta den överförd värmen. Skillnaden, det streckade fältet, utgörs av överförd överskottsvärme.

Topparna på kurvan i figur 6.3 representerar vardagarna under veckan. De överförd effekterna uppgår till ca 30 kW under dagtid. Behövs ingen återuppvärmning av den cirkulerande luften har överskottsvärme från kontoren utnyttjats för att värma gården. Detta förhållande visas av de sträckade fälten i diagrammet.

Med tanke på att överskottsvärme på sätt och vis ska motsvara aktiviteten i kontoren kan bilden studeras från ett annat perspektiv. Under måndagen finns endast lite överskottsvärme. Under tisdag och onsdag ökar aktiviteten något med tydliga avbrott vid lunchtid. torsdagen tycks börja med en relativt lågt belastad förmiddag och på fredagen minskar aktiviteten successivt.

6.3 Resultat

Sammanfattningvis kan sägas att behovet av att kyla kontoren med hjälp av gården varit mycket begränsat. Endast vid några få tillfällen har gården kylt kontoren och då endast med låg effekt.

Totalt har ca 30 MWh värme från kontoren överförs till gården varav nettotillskottet, dvs överskottsvärme har utgjort ca 2 MWh. Detta indikerar att kontorens kylbehov varit ringa.

Övriga värmetskott till gården är förluster från undercentralen som via cirkulationsluft tillförs till gården. Dessutom finns ca 150 ljuspunkter i gården, bestående av vanliga glödlampor, vilka väsentligt bidrar till uppvärmningen av gården.

De här extra tillskotten av värme kommer att höja temperaturen i gården i förhållande till de simuleringar som gjorts. Temperaturen har varit mellan 5 °C och 6 °C över beräknade värden. Det minskar naturligtvis gårdens kylande effekt på kontoren och därmed förmågan att överföra värme.

Förutom att kylbehovet i kontoren varit mindre än väntat har dessutom möjligheterna att ta emot värme i gården och bostäderna varit mindre än vad som beräknats.

Kanske kunde cirkulationen av kontorsluft genom gården minskas, vilket skulle medföra något lägre temperatur i gården, minskade transmissionsförluster samt minskad el till fläktdrift.

7 GLASGÅRDEN

7.1 Utformning och funktion

I Kv Bodbetjanten finns två glasgårdar i nordsydlig riktning. Gårdarna är avdelade med en glasvägg mellan kontors- och bostadsdelen, men sammanbinds energitekniskt via överluft, och kommer därför att betraktas som en enhet.



Bild 7.1 Den glasade gården i Kv Bodbetjanten. Bilden visar bla de speciella tilluftsdonen, loftgångar och delar av växtbelysningen (tända strålkastare i underkant av glaspartierna).

Gårdens totala volym är ca 8800 m^3 och ytan ca 610 m^2 . Taket består av ett isolerat fläkt- och aggregatrum och har därför inget horisontellt ljusinsläpp. Dagsljus tillförs istället via vertikala glaspartier i byggnadens övre del samt i gårdens hela sydsida. Den viktigaste orsaken till att gården endast har vertikala glasytor är att det inte ska bli för varmt sommartid. Dessutom minskar den negativa utstrålningen vintertid.

Gården har två funktioner, dels som "vinterträdgård", dels en energiteknisk. Med gårdens funktion som en "vinterträdgård", menas att klimatet ska motsvara förhållandena strax norr om Medelhavet. Gårdens ska

alltså vara uppvärmd. Temperaturen ska aldrig understiga $+5^{\circ}\text{C}$. (Andersson, 1988).

Gården ska tillvarata solenergi och vara en klimatbuffert genom att utjämna temperaturdifferenser i byggnadens olika delar och ute. Förutom gårdens funktion som solfångare ska buffertfunktionen uppnås genom att tillvarata transmissionsvärme från omslutande varma ytor och värme från kontoren.

Gården är upplyst av ett stort antal vanliga glödlampor samt flera kraftfulla ljuspunkter för växtbelysning. Elenergin till gårdsbelysningen omvandlas till värme. Denna värmetillförsel har väsentligt överstigit förhandsberäkningarna.

Ett annat avsevärt värmetillskott som inte ingått eller underskattats i förhandsberäkningarna, kommer från byggnadens undercentral och från det fläktarbete som åtgår till att transportera luft till och från gården.

Den tillförda värmen till gården kan dels tillgodos göras via värmepumpen dels genom att transmissionsförlusterna från bostäderna och kontoren blir mindre mot den uppvärmda gården. För att kvantifiera dessa tillskott redovisas i följande avsnitt resultat från mätningar på till- och bortförd energi, temperaturnivåer och luftflöden. Dessutom redovisas förhållandet mellan återvunnen värme och värmetillförsel till gården.

Redovisningen behandlar hur värme transporteras till och från glasgårdarna samt hur gården kan tillvarata gratisenergi och sådan energi som utan gården skulle vara förlust.

7.2 Driftfall och systembeskrivning

Vid analysen av glasgårdens funktion är det nödvändigt att särskilja olika driftfall. I första hand behandlas sommar och vinterfallet samt helger och vardagar. Dessutom särskiljs dag och nattdrift, tillsammans utgör detta åtta olika driftfall. Vinterfallet, dvs uppvärmningssäsongen, är definierat till perioden 15 september till 15 maj. Se tabell 7.1.

Luftbehandling, kylning och belysning vid olika driftfall styrs via ett datoriserat styr- och reglersystem. De olika driftfallen är därför väldefinierade och förprogrammerade i datorn. Detta gäller tidsberoende funktioner som tex ventilation av kontoren. Andra funktioner som gårdsbelysning och gårdsventilation regleras via ljusintensitet respektive temperatur i gården.

Tabell 7.1 Sammanställning av de olika driftfallen för glasgården. Drifttider för de olika fläktaggregaten, vädringsluckor och gårdsbelysning registreras via mätstationen.

Driftfall/ Funktion	Sommar				Vinter			
	Mån-Fre		Lör-Sön		Mån-Fre		Lör-Sön	
	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt	Dag	Natt
Kontorsluft till gård	o	o			o			
Återluft till kontor						o		
Värme från gård via VP					o	o	o	o
Cirkulation genom UC och fläktrum	o	o	o	o	o	o	o	o
Vädringsluckor i drift	o	o	o	o				

7.2.1 Luftbehandling

Luftbehandlingen av glasgården varierar beroende på driftfall. Under vintern cirkuleras kontorsluft genom gården och kan då avge eller uppta värme i gården. Samtidigt cirkuleras gårdsluft genom undercentralen och fläktrummet och upptar värme från dessa.

Sommartid kan gården även ventileras med vädringsluckor. Vädringsluckorna öppnas om gårdstemperaturen överstiger en viss nivå (21°C till 23°C). Kontorsluft som tillförs gården bortförs då via vädringsluckorna.

Även under sommaren cirkuleras gårdsluft genom fläktrummet och undercentralen.

Under kontorstid tillförs den största mängden luft från kontoren till gården, ca 14000 m³/h. Under uppvärmningssäsongen återförs största delen av denna luft till kontoren efter viss inblandning av uteluft via det uppstolpade yttertaket. Ytterligare ca 3000 m³/h av gårdsluften cirkuleras genom undercentralen och fläktrummet.

Totalt kan luften i gården omsättas ca 2 gånger i timmen. För att transportera dessa drygt 20 ton luftmassa per timme finns en installerad fläkteffekt på ca 14 kW.

En viss omsättning fås även via läckage i gården mot uteluften. En del av bostädernas frånluft antas också överföras till gården. Luftflöden till och från glasgården ska därför balanseras så att ett övertryck uppstår i gården för att motverka läckage till gården från bostäderna.

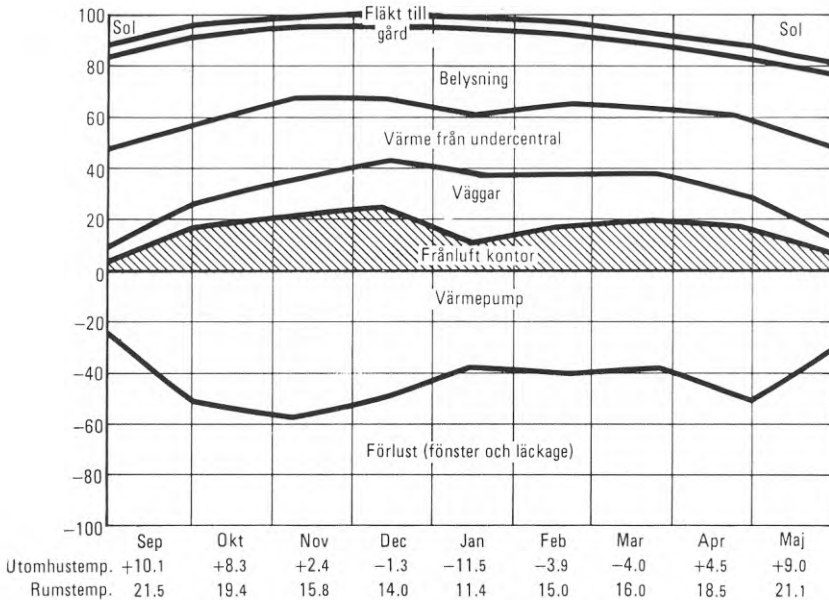
Återvinning av värme i gården, kylning

Gårdsluften kan även kylas via värmepumpen under förutsättning att kontoren inte har något kylbehov. Den via värmepumpen bortförda värmen från gården kan användas till tappvarmvattenberedning och värmning av kontorens tilluft.

Kylningen ska inte ske under sommaren eftersom värmepumpen då utnyttjas bättre med uteluften som värmekälla.

7.3 Utvärdering av återvinnings- och buffert funktionen.

I förhandsberäkningarna förutsattes att gården huvudsakligen skulle värmas med gratis solenergi och återvunnen energi från kontoren och bostäderna.



Figur 7.2 visar olika energiflöden procentuellt fördelade till- och från glasgården under uppvärmnings-säsongen 1987. Under den kalla januarimånaden ökar bidraget av transmissionsvärme till gården väsentligt. Gårdens uppmätta medeltemperatur i januari är så hög som +11.4 °C. Jämför figur 2.2 sid 12.

Om man jämför energibalansen i figur 7.2 med den ursprungliga hypotesen, figur 2.2 finns flera skillnader. Temperaturen är högre än beräknat. Andra värmetillskott har tillkommit, värmeförlusterna från gården har ökat. Värme från byggnadens undercentral och belysningsvärme utgör väsentliga tillskott till gården. Även fläktvärme bidrar till gårdens uppvärmning. Bidragen från kontoren och solen har minskat.

De tillkommande värmetillskotten till gården består främst av köpt energi. Värmen från belysningen och fläktarbetet skulle kunna reduceras utan glasgård. En del av den tillförda värmen skulle också kunna återvinnas på andra sätt än via glasgården. Värme från undercentralen och kontoren skulle kunna återvinnas direkt via värmepumpen. För att bedöma glasgårdens energitekniska funktion är det väsentligt att veta om

den tillförda energin är köpt, återvunnen eller "gratis" solvärme.

Ytterligare en avvikelse från hypotesen är att förlusterna från gården är större än i förhandsberäkningarna. Utetemperaturen under mätåret har varit lägre än vad som antagits vid beräkningarna. Värmepumpens del av den bortförda energin från gården har minskat från ca 60% i hypotesen till ca 40% under mätåret 1987.

Bedömningen av glasgårdens förmåga att nyttiggöra energi i energisystemet måste därför baseras på den tillförda energins användbarhet. Hur förhåller sig andelen nyttiggjord energi från gården gentemot köpt- respektive gratis och återvunnen energi.

Nyttigjord värme definieras som värme från gården tillförd systemet via värmepumpen och som minskade transmissions- förluster pga gården. Den tillförda energin består av gratis solvärme, återvunnen värme från kontoren och bostäderna eller köpt energi.

Tabell 7.2. Värdering av tillförd och återvunnen energi i glasgården under uppvärmningssäsongen 1987.

MWh	TILLFÖRT			NYTTIGGJORT		
	Gratis	Återv.	Köpt	Värmepump		Minsk trans
				Gratis/ Återv.	Köpt	
Solenergi	20			8		8 ²
Transmiss		35		14		14 ²
Undercent		38(51) ¹		16(22) ¹		15 ²
Kontor		2	11(28) ¹	1	5(13) ¹	5 ²
Belysning		7	43 ³	3	18	19 ²
Fläkt.tot			36		15	14 ²
" ÅÅ1					(3)	
" FF1					(7)	
" Ö1+Ö2					(5)	
TOTALT	20	82	90	42	38	75

ÅÅ1, Cirkulationsfläkt till gårdens återvinningsbatteri
 FF1, Frånluftsfläkt kontorsluft till gården
 Ö1+Ö2, Cirkulationsfläktar för gårdsluft genom under
 centralen och fläktrummet.

1 Inklusive fläktvärme

2 För att fördela nyttan av de minskade transmissionsförlusterna tack vare gården, har minskningen beroende på de olika energiflödena till gården proportionerats enligt, tillförd delenergi/tillförd totalt * 75 MWh). Totalt har transmissionsförlusterna beräknats minska med ca 75 MWh.

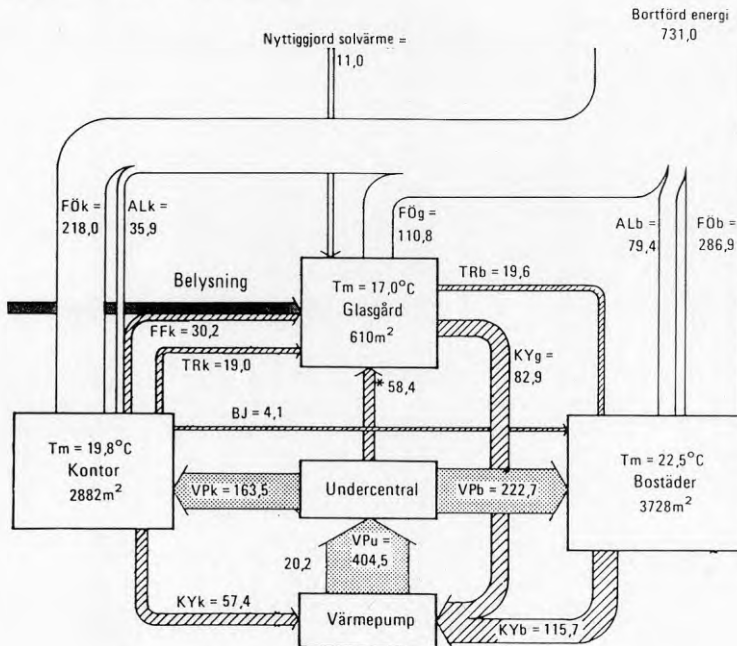
3 Elenergi till gården som inte skulle tillförts en byggnad utan gård.

Den via värmepumpen nyttiggjorda värmen från solen, gårdsbelysningen, transmissionsvärme till gården från bostäderna och kontoren samt kontorsvärme via frånluften är ca 25 MWh, knappt 15% av totalt ca 192 MWh tillförd värme. Om den tillförda värmen från undercentralen betraktas som gratis- eller återvunnen värme är andelen återvunnen värme via värmepumpen ca 20% av totalt tillförd värme till gården.

Ungefär lika mycket, ca 40 MWh köpt energi till gården nyttigörs via värmepumpen. Om tillförd energi från allt fläktarbete ska betraktas som köpt energi är dock inte självklart. Tex kan en del av värme från kontorens frånluftsfläkt vara återvunnen energi beroende på driftfall.

Det är också så att de minskade transmissionsförlusterna delvis beror på att köpt energi tillförs gården.

7.4 Energiflöden



Figur 7.3. Energiflödesschema för uppvärmningssäsongen 1987. Bilden beskriver energiflöden till och från glasgården. Pilarnas bredd är proportionella mot de energiflöden som redovisas (Se vidare bilaga 1).

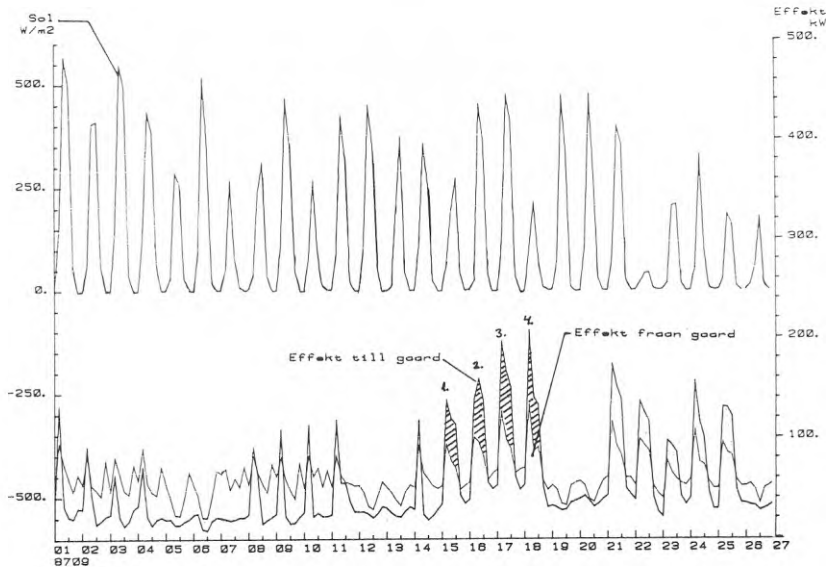
Av schemat framgår att glasgården är energitekniskt förbunden med undercentralen, kontoren och fläktrummet. Dessa energiflöden är luftburna via ventilationssystemet. En annan länk i systemet för transport av energi är värmepumpen.

Transmissionsförluster, TRb, överförs både från bostäderna och kontoren men visas i schemat endast från bostäderna för att förenkla bilden.

7.4.1 Solenergi till gården

Vid simulering av energibalansen över gården utgör tillskottet från solen en betydande andel av den tillförda energin till gården. Under uppvärmningssäsongen uppgår solens tillskott enligt dessa beräkningar till ca 40% av totalt tillförd energi. Solvärmen kan tillgodogöras systemet via värmepumpen och genom att transmissionsförlusterna från byggnaden minskar.

Energibalansen över gården har jämförts under molniga och soliga dagar, vid i övrigt likartade driftförhållanden. Med energibalans menas uppmätt tillförd- och bortförd värme. På tillförselsidan består tillskotten, förutom av solvärme, av transmissionsvärme, belysningsvärme samt värme från kontoren och undercentralen. På bortförselsidan utgörs den uppmätta värmen av bortförd värme via värmepumpen och värme till kontoren.



Figur 7.4 visar tillförd- och bortförd värme till gården som timmedelvärden under September 1987. Solförhållandena, som registreras via en givare på byggnadens tak, redovisas med enheten W/m^2 .

I figur 7.4 kan man se att värme från kontoren börjar att tillföras gården Tisdagen den 15 september (Index 1). Samtidigt börjar också värme bortföras från gården. Onsdagen och Torsdagen är relativt soliga och värmeutvinningen ökar (Index 2 och 3 i figur 7.4). Under fredagen minskar soltillskottet och även värmeutvinningen (Index 4). Utetemperaturen, som högsta dagstemperatur, sjunker under veckan från ca $+13^{\circ}\text{C}$ den 15:e september till ca $+11^{\circ}\text{C}$ den 18:e september.

Under följande arbetsvecka, from den 21 september, ökar temperaturen ute samtidigt som solförhållandena försämras. Energiuttaget ur gården minskar också. Dessa förhållanden tyder på att glasgården bidrar till energisystemet som "solfångare".

Glasgårdens utnyttjande av tillförd solvärme via värmepumpen och som minskade transmissionsförluster, kan på basis av mätningarna beräknas till ca 20 MWh per år. Trots att soltillskottet inte är direkt mätbart och därför svårt att säkert kvantifiera, bedöms skillnaden mellan verkligt tillskott och förhandsberäkningarna vara signifikativ. En orsak till detta är gårdens förhållandevis höga temperatur under höst och vår (Se figur 7.2). Skillnader jämfört med simuleringen beror på att hänsyn inte kunnat tas till alla värmetillskott till gården i förhand. Osäkerheten i indata påverkar i hög grad beräkningarna av temperaturförloppen.

Att direkt mäta solens energitillskott till gården har inte varit möjligt. Med den stora tillgång till mätdata som funnits, har dock en metod prövats, för att beräkna solens nyttiggjorda energibidrag.

Metoden bygger på att söka skillnader i energibalansen över gården vid olika solförhållanden vid i övrigt likartade driftförhållanden. Förutom solförhållandena måste då hänsyn tas till:

- Aktuellt driftfall
- Temperaturförhållanden i gården och ute
- Årstid, dagens längd

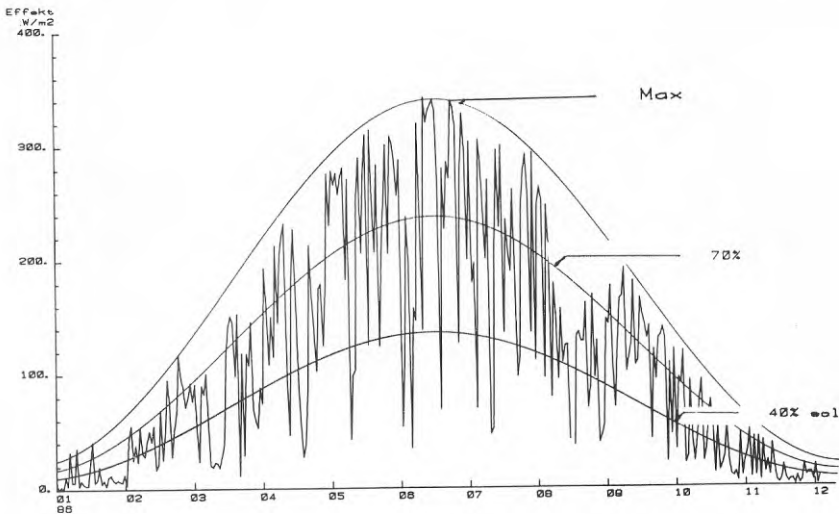
Beräkningar av soltillskottet baseras sen på analysen av skillnaden i energibalansen vid olika solförhållanden samt uppmätt solinstrålning under uppvärmningssäsongen.

Möjligheten att tillgodogöra systemet energi från gården jämförs med soliga respektive molniga dagar. Jämförelsen måste också göras för det driftfall då värme tillförs från kontoren och då värmepumpen samtidigt kan utvinna värme från gården, i det här fallet normal kontorstid under uppvärmningssäsongen 15 september till 15 maj.

För att analysen ska vara möjlig har en omfattande bearbetning av mätdata krävts. Vid hantering av stora mängder data och beräkningar ökar också osäkerheten i resultatet. Dock visar jämförelsen av energiutvinning ur gården en signifikativ skillnad mellan soliga och molniga dagar (Se figur 7.4).

Solförhållanden

För att kvantifiera tillskottet av solenergi under en hel uppvärmningssäsong, har först soliga och molniga kontorsdagar definierats. Om den uppmätta solinstrålningen överstigit 70 procent av maximal möjlig solinstrålning har dagen definierats som solig. Har däremot solinstrålningen understigit 40 procent av maximal instrålning har dagen definierats som molnig. Dessa typdagar har sedan jämförts mot samma driftfall och utetemperatur. Global solinstrålning mäts på byggnadens tak och värdena har lagrats med enheten W/m^2 .



Figur 7.5. Vid beräkningen av soliga respektive molniga dagar har först ett maxvärde av solinstrålning beräknats med utgångspunkt från den uppmätta solinstrålningen. Därefter har de dagar som haft mer än 70% av framräknat maxvärde ansatts som soliga och dagar som haft mindre än 40% av max solinstrålning ansatts som molniga dagar.

Temperaturer

Hänsyn måste tas till både påverkan av gårds- och utetemperaturen. Energibalansen under en solig dag med tex utetemperaturen + 5°C jämförs med balansen under en molnig dag med samma utetemperatur. Dessutom måste så långa intervall som möjligt användas vid utvärderingen för att minska påverkan från tillfälliga temperatursvängningar och laddningsförlopp.

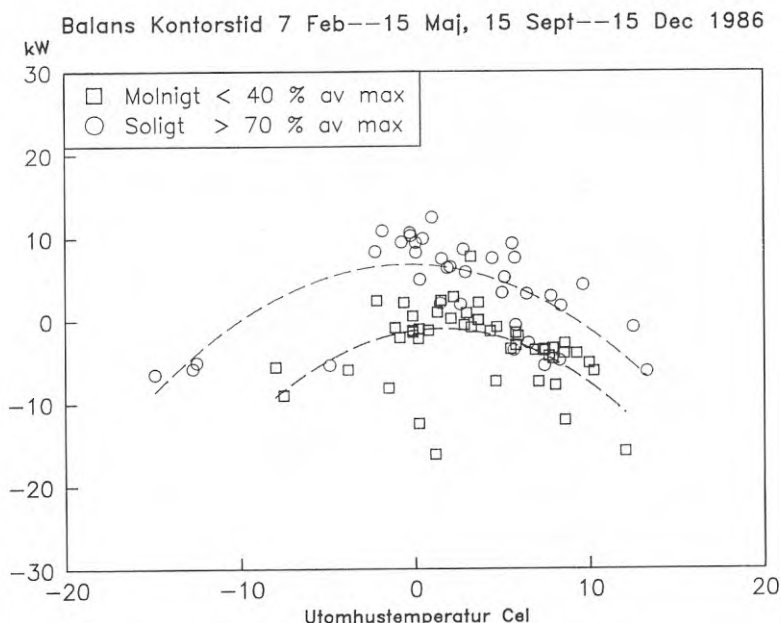
Påverkan av årstid

Dagens längd, dvs hur många timmar solen kan bidra till energitillförseln, påverkar också energiuttaget av solvärme ur gården. Hur mycket solvärme som kan tillgodogöras under dygnets ljusa timmar har beräknats genom att använda begreppet dagmedeleffekt.

Dagmedelvärden har använts för att solvärmestillskottet under soliga korta höstdagar och långa dagar under våren ska kunna jämföras. Skulle tex dygnsmedelvärden användas skulle soliga dagar under hösten ge ett alldeles för lågt värde på soltillskott jämfört med vårdagar.

Skulle däremot timmedelvärden användas skulle tillfälliga temperatursvängningar och laddningsförlopp ge upphov till för stor spridning hos värdena. Någon indikation på tillförd solvärme skulle vara svår att utvärdera.

Skulle längre intervall användas, tex veckomedelvärden, skulle antalet värden bli för litet för att göra en analys möjlig. Som lämpligt intervall har därför dagmedelvärden valts som utgångspunkt för analysen.



Figur 7.6. Jämförelse av värmebalans över gården vid olika solförhållanden. ger en tydlig indikation på ett soltillskott under kontorstid. Skillnaden mellan kurvorna indikerar tillskottet.

Jämförelsen av värmebalansen som dagmedeleffekt vid olika solförhållanden ger en skillnad på ca 10 kW som medeleffekt mellan soliga och molniga dagar under uppvärmningsperioden. Detta värde har sedan ingått som underlag vid beräkning av soltillskottet under uppvärmningsperioden.

7.4.2 Transmissionsvärme till gården från bostäderna och kontoren

Totalt har ca 35 MWh värme tillförts gården under 1987, baserat på temperaturskillnader i gården och utomhus. Hänsyn kan också tas till den lägre isolerstandard för väggarna mot glasgården. Om väggarna hade haft normal standard skulle bidraget till gården varit lägre.

Värdet av gården som klimatbuffert kan ses som skillnaden i transmissionsförluster från de uppvärmda delar som angränsar mot gården med nuvarande isolerstandard

och vad som skulle ha förlorats om inte gården funnits och väggarna haft en tjockare isolering.

De minskade förlusterna måste även värderas utifrån hur gården uppvärmts. Då ungefär hälften av den tillförda energin till gården är köpt, bedöms bara hälften av de totalt minskade transmissionsförlusterna som "sparbidrag" från experimentåtgärderna. Köpt energi som tillförts gården skulle göra större nytta om den tillfördes direkt till bostäderna eller kontoren.

Gårdens buffertfunktion, dvs minskade transmissionsförluster från byggnaden pga av den uppvärmda gården, beräknas reducera uppvärmningsbehovet med ca 75 MWh för uppvärmningssäsongen.

7.4.3 Värme från undercentralen.

Ca 50 MWh värme tillförs till gården från undercentralen under uppvärmningssäsongen förutom värmen till bostädernas bjälklag, ca 3 MWh. En del av värmetillförseln består av fläktvärme.

Detta tillskott av fläktvärme har inte ingått i förhandsberäkningarna, trots att bidraget är en betydande del av värmetillförseln. En anledning till att bidraget från undercentralen är så stort är att värmetillförseln sker under hela året. Pga av relativt stor och jämn temperaturskillnad mellan gården och undercentralen är tillskottet väsentligt både under sommaren och vintern, mellan 5 MWh och 7 MWh per månad.

7.4.4 Värme från kontoren

En stor del av tillförd energi till gården förväntas komma från kontoren. Totalt uppgår detta värmetillskott till ca 30 MWh under uppvärmningssäsongen 1987. För att kunna beräkna energibidraget från kontoren är det nödvändigt att känna till hur stor del av kontorens frånluft som återförs till kontoren och hur stor del som lämnar gården som avluft.

Den energi som kan tas ut ur kontorens frånluft då luften passerar glasgården, för att sedan lämna gården som avluft, betraktas som återvunnen energi och beräknas ur temperaturdifferensen mellan kontorsluftens temperatur och gårdsluftens temperatur samt avluftens massflöde.

Om luften återförs till kontoren måste energiuttaget i gården relateras till eventuell uppvärmning av den återförda luften. I detta fall har energi överförs till gården från kontoren men tvingats ersättas med

köpt värme till kontoren. Den ersättningsvärme som då tillförs kontoren hade kunnat tillföras gården direkt utan transporten genom gården via ventilations-systemet. Alternativt hade ingen värme behövts tillföras gården och gårdstemperaturen hade därmed sjunkit något. Möjligen har cirkulationen en utjämnande funktion.

Kännedom om dessa förhållanden är nödvändigt för att kunna utvärdera gårdens energitekniska funktion och den sk kombieffekten.

Av de totalt 30 MWh som överförts via gårds-cirkulationen, kan ungefär 10% relateras till över-skottsvärme från kontoren. Dvs överförd värme som inte ersatts i kontoren enligt ovan resonemang. När kontorsvärmen tillförts glasgården kan den sedan, förutom via värmepumpen, tillgodogöras systemet i form av minskade transmissionsförluster från byggnaden.

7.4.5 Belysning i glasgården

Ljusintaget till glasgården via de vertikala glas-ytorna är relativt begränsat, förutom den helt upp-glasade söderfasaden. Bristen på dagsljus har därför kompensrats med loftgångsbelysning och kraftiga halogenstrålkastare för växtbelysning.

Loftgångsbelysningen utgörs av 155 st glödlampor (60W/st) och är den dominerande delen av belysnings-energin till gården. Växtbelysningen och den övriga gårdsbelysningen har varit en väsentlig del av energi-tillförsel till gården.

Totalt sett beräknas drygt 50 MWh belysningsvärme tillföras gården under uppvärmningssäsongen. Värmetillskott utöver förhandsberäkningarna, ca 40 MWh, bidrar till den ökade gårdstemperaturen. Av totalt tillförd belysningsvärme beräknas ca 20 MWh återvinnas med hjälp av värmepumpen.

7.4.6 Värme från fläktar

Ytterligare ett väsentligt värmetillskott kommer från fläktarbete och är högre än beräknat. Även detta tillskott ökar temperaturnivån i gården och reducerar förmågan att tillvarata förluster i avluft och överluft samt transmissionsvärme från intilliggande varma ytor. Dessutom ökar transmissionsförlusterna från gården och ut.

Totalt beräknas ca 36 MWh fläktvärme tillföras från kontorens frånluftsfläkt FF1, cirkulationsfläktar i undercentralen och fläktrum ÖF1+ÖF2, samt cirkulationsfläkten till gården kylaggregat AA1. Av den värme

som tillförs från kontoren utgör en stor del fläktvärme. Kontorens frånluftsfläkt är dock en del av det konventionella från- tilluftssystemet och denna värme kan i viss mån betraktas som återvunnen värme.

Ca 13 MWh tillförs från cirkulationsfläktarna som cirkulerar gårdsluft genom undercentralen och fläktrummet. Återstående delen tillförs från kylaggregatets fläkt.

7.4.7 Utvinning av värme från gården

De perioder där möjligheten att utvinna värme från gården främst har utnyttjats har varit vår- och höstdagar under Oktober respektive April. Soltillskottet har då varit som störst och värmepumpen har samtidigt hämtat mest värme i gården, ca 50% av totalt tillförd värme. Soltillskottet har under April beräknats till mellan 2 MWh och 3 MWh, motsvarande 10 till 15% av totalt tillförd energi.

7.4.8 Övriga energiflöden

Tillförd värme förutom från solen som är svåra att kvantifiera är personvärme och ofrivillig ventilation från bostäderna och har inte ingått i beräkningen av energibalansen.

Ingen hänsyn har tagits till minskade läckageförluster från bostäderna och kontoren pga av den uppvärmda gården. Bidraget har inte kunnat kvantifieras med hjälp av mätningar. Det kvarstår således till och bortförda energiflöden som inte ingår i den redovisade energibalansen. Dessa flöden bedöms dock vara förhållandevis små och inte avgörande för utvärderingen.

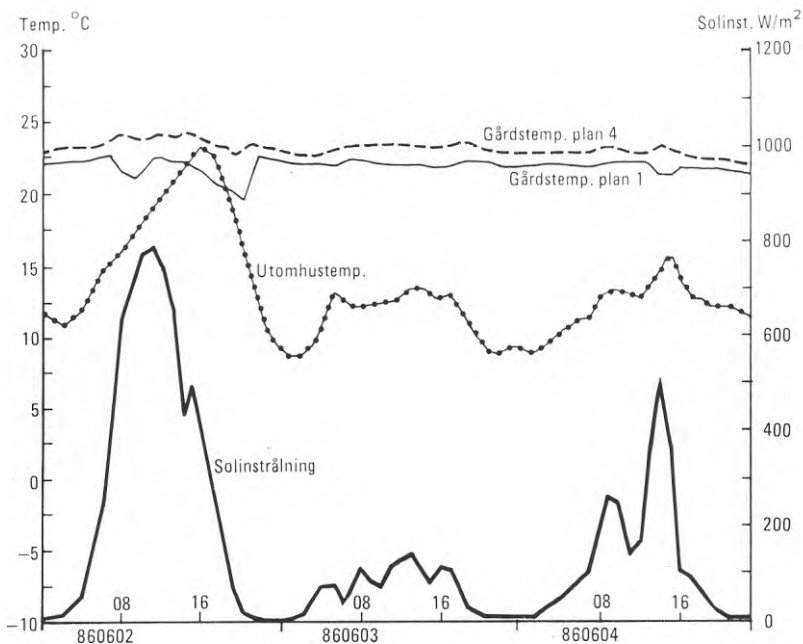
7.5 Temperaturförhållanden i gården

7.5.1 Sommarfall

Temperaturförhållandena i gården har studerats ingående, bl.a. i ett examensarbete av Lars Hamrebjörk och Lars Svensson "Temperaturförhållanden sommartid i överglasade gårdar" (Hamrebjörk L, 1987). Temperaturprofiler, påverkan av klimatanläggningen och skillnader mellan datasimulering och mätvärden har studerats.

De lägsta temperaturer (Timmedelvärden) som uppmätts i Juni 1986 var 21-22°C under natten vid ca 10°C utetemperatur. Under sommarens varmaste dag med ca 31°C i skuggan steg temperaturen till som högst 28°C. Under varma och soliga dagar med utetemperatur uppemot 25°C och 28°C var det hela tiden kring 26°C i gården. Temperaturskillnaden mellan den övre och den nedre delen av gården har endast varit 1-2°C. Skillnaden ökar under natten till som mest 3-4°C.

Några övertemperaturer har inte registrerats under sommarfallet vilket visar att gården har en utjämnande funktion på temperaturer i gården och ute. Vådringsfunktionen tycks också i stort ha fungerat väl.



Figur 7.7. Temperaturer i övre och nedre delen av vistelsezonen i Kv Bodbetjanten Period 860602--860604. Temperaturförhållandena som visas i figuren indikerar att solens påverkan på gårdstemperaturen är begränsad.

7.5.2 Vinterfall

Temperatursvängningarna i gården följer väl utetemperaturens. Svängningarna i gården dämpas dock. Under den extremt kalla januarimånaden 1987, sjönk dygnsmedeltemperaturen utomhus från ca -12°C till under -20°C . Det lägsta värdet, ca -24°C , uppnåddes andra veckan i januari.

Temperaturen i gården sjönk samtidigt från ca $+13^{\circ}\text{C}$ till som lägst ca $+6^{\circ}\text{C}$ under motsvarande period. Temperaturen i gården påverkas mer ju lägre utetemperaturen är och ju längre temperaturskillnaderna mellan gård och ute varar.

Över hela uppvärmningssäsongen 1987 har gårdens medeltemperatur varit ca $+16^{\circ}\text{C}$, som är betydligt högre än beräknat $+10.9^{\circ}\text{C}$, trots väsentligt lägre utomhustemperaturer än vad som antagits.

8 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

8.1 Kombieffekt, överförd överskottsvärme

Tillgänglig överskottsvärme

Kontorens placering, norr om bostäderna och med fönster huvudsakligen mot norr, har reducerat kylbehovet väsentligt. Inverkan är svår att kvantifiera, men med tanke på de låga uppmätta kyleffekterna via värmepumpen, hålbjälklagen och gården under sommaren, har norrläget haft mycket stor betydelse.

Dessutom finns goda möjligheter att sänka temperaturen nattetid i kontoren. Tillsammans med tekniken att tillföra tilluften via hålbjälklagen gör detta att en viss kylande effekt bibehålls även under dagen.

Kontorens placering i norrläge samt möjligheten till "nattkyla" har väsentligt reducerat den tillgängliga överskottsvärmen som skulle kunnat tillföras bostäderna eller glasgården.

Möjligheter att överföra värme

Det finns olika möjligheter att med luft transportera värme från kontoren till bostäderna, dels via bostädernas hålbjälklag dels direkt till glasgården via kontorens frånluft. Dessutom kan byggnadsstommen utnyttjas i syfte att korttidslagra värme. Sådan lagring kan användas både för kylnings- och uppvärmningsändamål. För att möjliggöra transporten av värme måste dock temperaturskillnader tillåtas mellan olika delar i byggnaden och över tiden. Detta gäller både temperaturskillnader mellan kontoren och bostäderna samt mellan bostäder-kontor och glasgården.

Trots att de installationstekniska förutsättningarna för värmetransport funnits har den faktiska värmeöverföringen inom byggnaden varit liten, beroende på små skillnader i temperaturer.

8.1.1 Hålbjälklag

När överskottsvärme funnits har möjligheterna till överföring via hålbjälklagen begränsats av oväntat hög temperaturnivå i bostäderna, ca 22 °C till 23 °C som medelvärde, samt små och endast tillfälliga temperaturdifferenser mellan kontoren och bostäderna. Endast kortvarigt har bostädernas temperatur varit lägre än kontorens.

Att temperaturskillnaderna är små och tillfälliga ställer också stora krav på reglerfunktioner. Givare måste vara rätt placerade och ge representativa signaler till reglerutrustningen. Börvärden måste justeras noggrant i samband med provdrift.

Sammantaget har detta medfört att energibidraget via hålbjälklagen endast uppgått till någon MWh under uppvärmningssäsongen oktober tom maj. Detta bidrag är lägre än den fläktenergi som åtgår för att transportera luften genom bjälklagen.

8.1.2 Kylning av tilluft till kontoren

Under sommaren kan värmepumpen fungera som kylmaskin. Tilluften till kontoren kan kylas. Den utvunna värmen ur tilluften kan tillföras för beredning av tappvarmvatten. Om inget behov av värme finns "dumpas" värme från värmepumpen via en värmeväxlare på byggnadens tak. Totalt har ca 1 MWh värme utvunnits ur tilluften.

Vid bedömningen av värdet av den energi som hämtas från tilluften till kontoren måste hänsyn tas till att värmen lika gärna kunde hämtats ur uteluften direkt. Andelen tillvaratagen el till värmepumpen för att utvinna värmen kan dock betraktas som en del av kombieffekten. Hade inte bostäderna kunnat ta hand om elenergin till värmepumpen/kylmaskinen hade den gått förlorad.

8.1.3 Gården

Gårdens bidrag till energisystemet, förutom tillgången till ett uppvärmt gemensamhetsutrymme, utgörs av återvinning av tillförd gratisvärme med hjälp av värmepumpen, minskade transmissionsförluster från bostäderna och kontoren samt gårdens funktion som kylare för kontoren.

De uppmätta gårdstemperaturerna har varit väsentligt högre än de som ursprungligen beräknades. Den beräknade medeltemperaturen för uppvärmningssäsongen, baserat på klimatförhållanden 1971, var ca 11 °C. Den uppmätta medeltemperaturen, under motsvarande period 1987, uppgick till drygt 16 °C. I mätperioden ingår dessutom den mycket kalla januarimånaden, med en medeltemperatur på -11.3 °C utomhus. Medeltemperaturen i gården under Januari 1987 var drygt 11 °C.

Enligt förhandsberäkningarna skulle temperaturen vara +9 °C i gården vid -1 °C ute, som utgör medelvärden för januarimånaden 1971.

Trots den höga gårdstemperaturen har ändå en del klagomål framförts från de boende på att gården är för kall. Det kan bero på förväntningar att den skulle ha inomhusklimat under hela uppvärmningssäsongen.

Det totala tillskottet av "gratis" och "återvunnen energi" till gården, om fläktarbetet för att tillföra energin borträknas, har beräknats till ca 60 MWh. Om även bidraget av värme från undercentralen betraktas som "gratisenergi", tillförs gården knappt 100 MWh.

Totalt tillförs gården knappt 200 MWh under uppvärmningssäsongen. Ungefär hälften av tillförd värme är gratis eller återvunnen värme och den andra hälften är köpt energi. Ca 40 % av den tillförda värmen till gården återvinns med hjälp av värmepumpen. Av den tillförda gratis- och återvunna värmen har alltså ca 40 MWh tillförts energisystemet med hjälp av värmepumpen.

Förutom den energi som direkt kan utvinnas från gården minskas också transmissionsförlusterna från byggnaden tack vare gården. Detta indirekta energibidrag beräknas till totalt ca 75 MWh. Då endast ca hälften av den tillförda energin till gården är gratis eller återvunnen energi, bedöms mellan 35 och 40 MWh av de minskade transmissionsförlusterna vara ett bidrag från åtgärder kopplade till energiexperimentet med glasgården och kombieffekten.

Vad gäller glasgårdens funktion som kylare har dess effekt påverkats av att gården uppvärmts mer än beräknat. De oförutsedda tillskotten av värme består främst av en stor andel förlustvärme från undercentralen, gårdsbelysning och värme från fläktarbete. De extra tillskotten har tillsammans beräknats till ca 120 MWh, vilket motsvarar ungefär 60% av totalt tillförd värme till gården. Värdena avser uppvärmningssäsongen oktober tom maj 1987.

Från kontoren har sammanlagt ca 30 MWh värme överförts till gården under uppvärmningssäsongen. Endast en liten del, ca 2 MWh, av den överförda värmen består dock av överskottsvärme, dvs kylning av kontoren. Resterande del av den överförda värmen har ersatts med köpt värme via luftvärmesystemet till kontoren.

Glasgårdens funktion som solfångare har också påverkats av att gården uppvärmts mer än beräknat. Förmågan att utnyttja solenergi till gården står i förhållande till skillnader i temperaturer i gården och ute. Totalt beräknas gården ha tillfört ca 20 MWh solvärme under 1987, jämfört med ca 40 MWh enligt hypotesen.

Då gården delvis värms av köpt energi måste värdet av gården ställas mot kostnaderna för uppvärmning och investering.

Extra investeringskostnaderna kopplat till experimentåtgärderna var ca 4 miljoner kronor i 1981 Års penningvärde (Andersson L-O, 1988). Räknat på det totala energibidraget från experimentåtgärderna ger detta en investeringskostnad per kWh på ca 50 kr.

Utöver belysning och fläktarbete som delvis utgör ett extra energibehov orsakat av gården, bör även återvinning av luftvärme värderas. Kanske kunde värmen i luften återvinnas direkt ur kontorens frånluft och ur luft från undercentralen eller utvinnas direkt ur ute-luften utan att utnyttja gården.

Trots att gården inte enbart värms med gratis eller återvunnen energi, är kanske ändå tillgången till en uppvärmd gård under vintern värdefull i sig. Det är dock viktigt att framhålla att en stor del av värmeförlusterna, ca 50%, faktiskt består av köpt energi. Den köpta energin motsvarar ca 150 kWh/m² gårdsyta och år. Detta beror främst på:

- att gården har begränsade ljusinsläpp som måste kompenseras med konventionell belysning och växtbelysning även under stor del av dagen.
- att arbetet i form av fläktel för transport av energi till- och från gården är avsevärt. Det är dock inte alltid "merenergi".
- att tillförd värme från kontoren till gården under normala driftförhållanden måste ersättas till kontoren med köpt värme.
- att den förhöjda temperaturen i gården minskar förmågan att tillvarata "sol- och överskottsvärme" och ökar transmissionsförlusterna från gården och ut.

Sammantaget kan sägas att det totala bidraget av experimentåtgärderna, som nyttigjorts med hjälp av hålbjälklagen, glasgården, och minskade transmissionsförlusterna, uppgår till mellan 70 och 90 MWh. Detta kan jämföras med förhandsberäkningar och den ursprungliga hypotesen där bidraget uppgick till ca 175 MWh.

Energibidraget måste också jämföras med årskostnaden för experimentåtgärderna som i 1988 års prisläge (med 30 års amortering och 4% kalkylränta) uppgick till 400 000:-. Energibesparingen motsvarar endast ca 10% av detta belopp. Glasgården och bostädernas hålbjälklag kan således inte motiveras av energihushållningsskäl.

Det måste finnas andra motiv än ekonomiska för att bygga en glasgård av den typ som byggts i kv Bodbetjanten.

Byggnaden skulle kanske, rent energitekniskt, vinna på energiåtervinning direkt ur kontorens frånluft och från undercentralen med hjälp av värmepumpen. Med lägre gårdstemperatur skulle transmissionsförlusterna från gården kunna reduceras.

En stor del av elenergin som nu används till gårdens belysning och fläktarbete för lufttransport till och från gården skulle kunna minskas.

Å andra sidan skulle mycket kunna göras i dagsläget för att reducera elanvändningen till belysning och fläktarbete. Tex kan glödlampor ersättas med lysrörlampor. Fläktarnas drift kan ses över med tanke på verkningsgrader, drifttider, tryckfall mm. Effekten av dessa åtgärder bedöms vara väsentlig.

Man kan också säga att olika tekniska lösningar har konkurrerat i Kv Bodbetjanten. Kontoren kan kylas på flera sätt, där överföring av överskottsvärme till bostäderna inte har prioriterats. Kylbehovet har i första hand reducerats via kontorens norrläge och nattkyla via termodecksystemet. Denna kylning har oftast varit tillräcklig. Gården har också värmts mer än beräknat beroende på värmeförlust från flera håll, vilket reducerat gårdens funktion som "kylare för kontoret" och som "solfångare".

Det minskade kylbehovet pga kontorens placering är i sig en kombieffekt om än inte särskilt spektakulär. Det är dock intressant att denna enkla åtgärd för att minska kylbehovet i kontoren, speciellt sommartid, är mycket effektiv.

Det finns alltså två huvudorsaker till att det överförts relativt lite överskottsvärme:

- dels har kylbehovet, dvs tillgänglig överskottsvärme, varit mindre än beräknat.
- dels har temperaturskillnaderna mellan olika byggnadsdelar ofta varit för små för att transportera värme.

8.2 Köpt energi

Köpt energi redovisas som temperaturkorrigerade värden i tabell 5.1 och figur 8.1. Den totala mängden av köpt energi till både bostäderna och kontoren är relativt liten. Den främsta orsaken till detta är att värmepumpen bidrar till energitillförseln med ca 30 % av totalt tillförd energi.

En annan viktig orsak till den låga energianvändningen är att kontoren relativt sett använder mindre energi än bostäderna.

Det väsentligaste bidraget från energiexperimenten är glasgårdens buffertfunktion och förmåga att tillvarata förlustvärme från undercentralen samt byggnadens planlösning.

Andra orsaker till den relativt låga energianvändningen bedöms vara en effektiv idrifttagning och ett väl anpassat styr- och reglersystem.

8.2.1 Kontoren

En orsak till kontorens låga energianvändning är att de endast utnyttjas under dagtid. Installationerna och reglersystemet kan på ett effektivt sätt anpassa energi och lufttillförsel efter behovet. Dessutom undviks hög energianvändning för kylbehov pga av kontorens låge och utnyttjandet av nattkyla. Det tycks också ha varit så att kontoren varit lågt utnyttjade under mätperioden 1986 till 1987, trots att inflyttningen var klar under 1987.

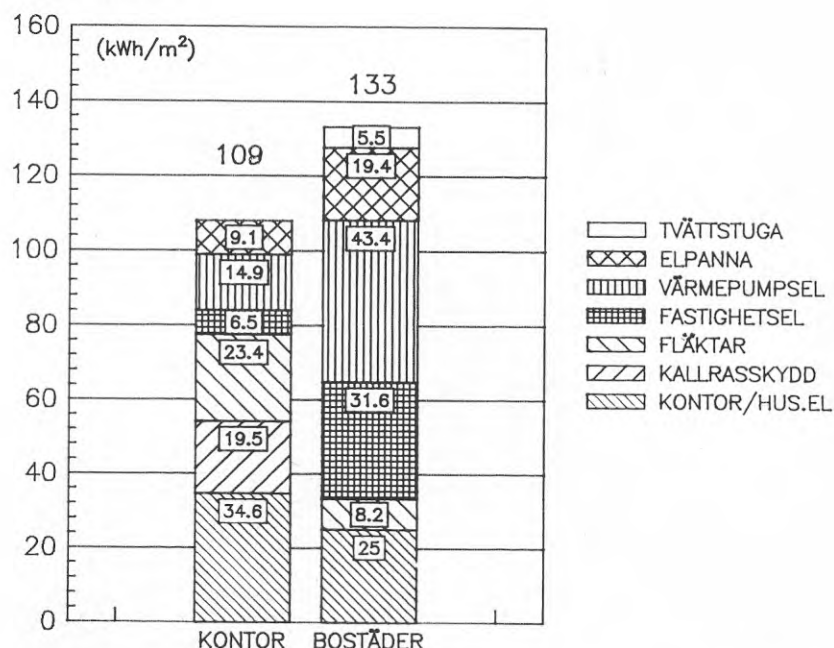
Kontorens låga energianvändning, ca 112 kWh/m^2 (BRA) och år, beror också på att kontoren "ventileras" med en stor del återluft via gården under uppvärmningsperioden. Av en total luftomsättning på ca 2 oms/h under kontorstid, är ca 65% återluft. Sett i ett hygieniskt perspektiv kan detta förhållande naturligtvis ifrågasättas.

8.2.2 Bostäderna

Om köpt energi fördelas till kontoren och bostäderna blir den ytspecifika tillförseln till bostadsdelen ca 142 kWh/m^2 (BRA) och år. Energianvändningen till bostäderna blir då jämförbar med andra byggnader av samma ålder och liknande installation. Kv Konsolen, ett flerbostadshus som också ingår i Stockholmsprojektet, har likartad installation med mekanisk frånluft och en värmepump som återvinner värme ur frånluften. Värmepumpen tillför värme till ett radia-

torsystem och till beredning av tappvarmvatten. Totalt köpt energi till Kv Konsolen uppgick till ca 130 kWh/m² (BRA) under 1987. Kv Konsolen har dock inte någon uppvärmd glasgård.

Graddagsjusterat



Figur 8.1 Total mängd köpt energi till kontoren respektive bostäderna under 1987. Värdena är graddagskorrigerade.

8.3 Jämförelse med förhandsberäkningar

Vid jämförelser med simuleringar och resultat av mätningar är det framför allt tre aspekter som har betydelse, klimatpåverkan, valet av indata och referenser vid jämförelser.

Det är viktigt att skilja mellan energianvändning som påverkas av förutsägbara temperaturförlopp - termiska förlopp och användning som inte direkt påverkas av temperaturförhållanden. För termiska förlopp har klimatdata från året 1971 använts vid beräkningarna. För icke termiska förlopp har värden ansatts vid beräkningarna, tex för fläktel, hushållsel, belysning och varmvattenberedning.

Det är också avgörande hur jämförelser görs med "nyckeltal". Vilka ytor används tex vid jämförelser av energianvändning per m^2 . Jämförelser kan göras med total energianvändning i hela byggnaden eller användningen i bostäderna respektive kontoren.

Beräkningarna av termiska förlopp i byggnaden stämmer i många avseenden väl med mätresultaten. Tex är temperaturgradienten i gården mellan $1^\circ C$ och $2^\circ C$, jämfört med ca $1^\circ C$ enligt simuleringen. Även beräkningarna av transmissionsvärme från kontoren och bostäderna till gården stämmer väl. Vid jämförelser av icke termiska förlopp, är dock överensstämmelsen sämre.

8.3.1 Areor

Vid simuleringsberäkningarna har behovet av totalt köpt energi beräknats till ca $81 \text{ kWh}/m^2$ för den totala uppvärmda ytan, inte uppvärmd bruksarea. För att jämföra beräkningarna med mätresultaten måste därför det beräknade värdet räknas om och motsvarar då ca $90 \text{ kWh}/m^2$ BRA_T och år. Totalt beräknades ca 590 MWh el-energi köpas per år. Under 1987 köptes ca 850 MWh el-energi, motsvarande $129 \text{ kWh}/m^2$ (BRA) och år.

8.3.2 Värme

Värden på energianvändning för att täcka transmissionsförluster och läckage skiljer mellan 520 MWh baserat på mätningarna och 435 MWh (ytkorrigerat 7300/5700) enligt förhandsberäkningen. Avvikelsen beror bla att medeltemperaturen utomhus under året 1987 har varit lägre än för jämförelseåret 1971. Temperaturerna i bostäderna och glasgården har också varit oväntat höga.

Det sammanlagda energibidraget från experimentätgardena har dessutom varit ca 80 till 100 MWh lägre än förväntat. Skillnaden mellan simuleringen och mätresultatet beror också på att värmepumpens årsmedelvärmefaktor har varit lägre än beräknat.

Dessa förhållanden har bidragit till ett ökat behov av värme från elpannan och värmepumpen och därmed ett ökat elbehov. Totalt tillförd värme för att täcka ventilations- och transmissionsförluster har, baserat på mätningarna, beräknats till ca 700 MWh (inklusive bidrag från personvärme) under 1987 jämfört med 460 MWh enligt beräkningarna.

Då huvuddelen av värmen produceras med värmepumpen blir förhållandet annorlunda vid jämförelser av köpt energi och använd energi.

Det finns således flera förklaringar till skillnaderna mellan uppmätta värden på köpt elenergi till pannan och värmepumpen och simulerade värden.

8.3.3 Fastighets- och hushållsel

Denna energianvändning är inte direkt temperaturberoende. Däremot påverkas användningen delvis av klimatförhållanden och årstid. Användningen av hushållsel varierar tex mellan sommar och vinter, ca $\pm 20\%$. Den klimatpåverkade delen av Fastighets- och hushållsel är dock förhållandevis liten. I förhandsberäkningarna har värden för olika användningsområden ansatts till totalt 350 MWh för ett helt kalenderår.

Totalt har behovet av hushållsel, fastighetsel inklusive fläktel uppgått till ca 450 MWh under 1987, ca 100 MWh utöver ansatta värden i simuleringen. Detta motsvarar ca 15 kWh/m^2 (BRA_T) och år.

Användningen av fastighets- och hushållsel har underskattats. Hänsyn har tex inte tagits till motorvärmare, elradiatorer i bostädernas badrum samt el till pumpar i undercentralen.

Även fläktel har underskattats beroende på att fläktar för cirkulation i bjälklagen inte ingått i beräkningarna. Dessutom fanns inte slutgiltiga uppgifter på aktuella tryckfall, luftflöden och motoreffekter vid tidpunkten för beräkningarna. För alla objekt i Stockholmsprojektet antogs att tryckfallen motsvarade en temperaturhöjning på 1°C . Detta värde motsvarar temperaturhöjningen vid ett specifikt effektbehov för lufttransport på $1200 \text{ W/m}^3\text{s}$, vilket är rimligt vid normal dimensionering av fläktaggregat. I några anläggningar i Stockholmsprojektet har dock betydligt högre värden uppmätts, motsvarande 2 till 3°C temperaturhöjning av luften.

Elanvändningen till gårdsbelysningen inklusive växtbelysningen har också varit för lågt ansatt vid beräkningarna.

Den höga andelen fastighetsel kan sägas bero på att Bodbetjänten är installationstät. Detta gäller främst drivet till fläktar och till belysning. En del av den tillförda elenergin kan ibland tillgodogöras byggnaden som värme. Detta sker dock okontrollerat och ger upphov till kylbehov eller övertemperaturer under vissa perioder.

8.3.4 Effekter

Utnyttjandet av installerade effekter tyder på att dimensioneringen av värmeanläggningen är mycket väl genomförd. Värmepumpen har utnyttjats nästan 80 % av året och pannan ca 14%. Under de kallaste dygnen har full värmeeffekt utnyttjats samtidigt som inomhus-temperaturen sjunkit någon grad.

8.4 Experimentåtgärdernas totala energibidrag

Tabell 8.1 Resultat av experimentåtgärderna totalt och uppdelat på olika ytor.

	Tot MWh	BRA _T kWh/m ²	BRA _B kWh/m ²	BRA _K kWh/m ²
Hålbjälklag:				
Cirk. av varmluft i hål- hålbjälklag	1	0.2	0.3	0.3
Kylning:				
Kontorskylning via VP	1	0.2	0.3	0.3
Gården (Återvunnet VP):				
Värme från undercentr.	16	2.4	4.3	5.6
Kontorsluft till gården	1	0.2	0.3	0.4
Solvärme till gården	8	1.2	2.1	2.9
Trans.värme till gården	14	2.1	3.7	5.0
Belysningsvärme	3	0.5	0.8	1.0
Minskade trans.förluster	35	5.3	9.4	12.1
SUMMA	79	12.1	21.2	27.6

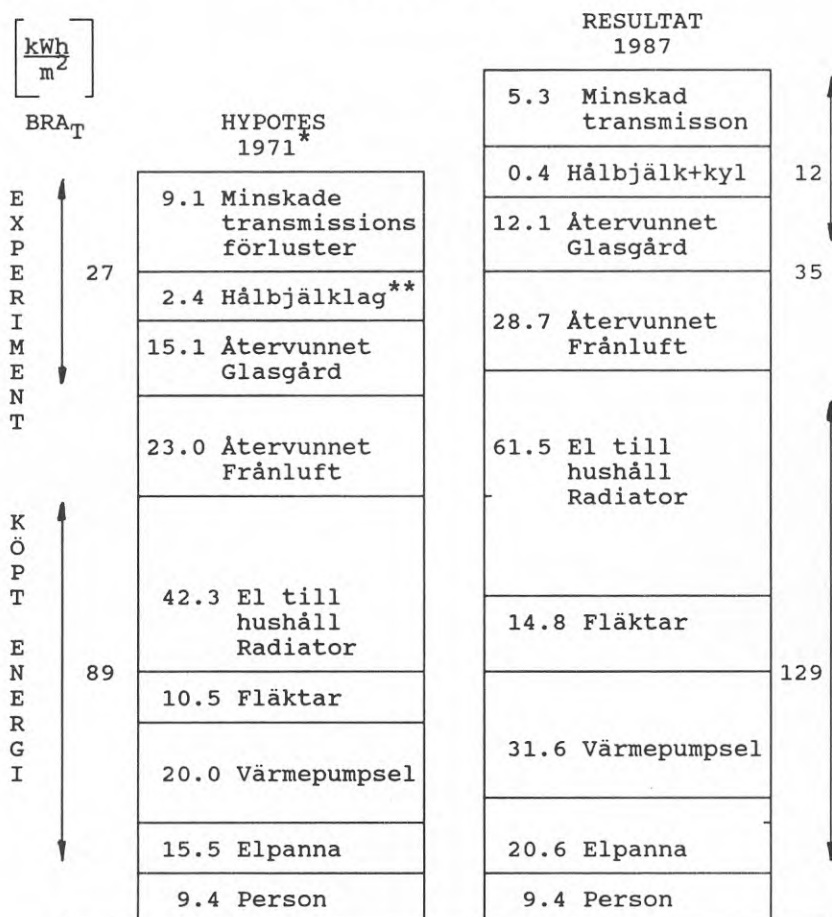
Det totala bidraget från de utvärderade experiment-åtgärderna kan summeras till ca 80 MWh varav ca 35 MWh beror på reducerade transmissionsförluster pga av gården. Bidraget avser då nettobidraget, dvs det bidrag som inte skulle funnits i ett referenshus utan energisparåtgärder.

Värmepumpens andel av experimentet, dvs utvinning av transmissionsvärme, solvärme och överförd överskottsvärme i gården har beräknats till ca 40 MWh av ca 100 MWh gratis och återvunnen energi som tillförts under

uppvärmningssäsongen. Även tillförd värme från undercentralen till glasgården, ca 40 MWh, betraktas som bidrag från experimentåtgärderna.

Experimentåtgärderna bidrar tillsammans med ca 12 kWh/m² (BRA) och är, motsvarande ca 9 % av den köpta energin under 1987. Värmepumpens totala bidrag i form av återvinning ur frånluft inklusive gårdsluft har uppmätts till ca 270 MWh, motsvarande ca 30 % av köpt energi.

KV BODBETJÄNTEN



Figur 8.2 Tillförsel av köpt energi och energiexperimentens totala bidrag enligt hypotes och bedömning av mätresultaten

* Hypotesen baseras på klimatdata från 1971

** Bostädernas bjälklag

8.5 Idrifttagning

Byggnaden i kv Bodbetjänten uppfördes på totalentreprenad av byggbolaget. Byggbolaget anlidade i sin tur en underentreprenör för stomme och energisystem. Underentreprenören fick ett totalåtagande med garanti för den energitekniska funktionen.

Funktionsansvaret har bidragit till att idrifttagningen av anläggningen fungerat bra. I jämförelse med de andra byggnaderna i Stockholmsprojektet har Bodbetjänten haft få driftproblem, trots att anläggningen är komplicerad. Installationerna har i huvudsak fungerat på rätt sätt redan före slutbesiktningen.

Litteratur

1. Andersson L-O, Delsenius S-E, Nyman B,
Stockholmsprojektet - Överglasade gårdar
och värmeöverföring från kontor till bostäder,
kv Bodbetjänten.
BFR Rapport 10:1988
2. Elmroth A, et al,
Stockholmsprojektet - Sex unika hus, Energisnåla
nya flerbostadshus. Teknik och erfarenheter från
Stockholmsprojektet.
BFR Rapport G2:1988
3. Elmroth A, et al,
Stockholmsprojektet - Unika resultat från sex
energisnåla hus
BFR Rapport T14:1989
4. Eriksson S-O, Wickman P, Levin P,
Energy performance i new Swedish multifamily
buildings
American Council for an Energy-Efficient
Economy - ACEEE 1990
5. Hamrebjörk L, Svensson J,
Temperaturförhållanden sommartid i överglasade gårdar
Byggnadsteknik, EHUB, KTH, 1987
6. Isfält E, Johnsson H,
Stockholmsprojektet - Effekt- och energisimuleringar
med datorprogrammet BRIS och DEROB.
BFR Rapport 59:1986
7. Johanneson C M,
Areaberäkningar i flerbostadshus
Avdelningen för konstruktionslära, KTH, 1988
8. Selin L-E
Behandling av mätdata
THS, KTH 1979
9. Sundbom L, Nilson A, Munther K
Energipotentialen i lokaler
BFR rapport R27:1987
10. Wånggren B, Wickman P,
System för mätning, analys och presentation
av mätdata i "Stockholmsprojektet"
Mätcentralen för Energiforskning - MCE, KTH 1988
(Ej publicerad)
11. Wånggren B,
Stockholmsprojektet - Idrifttagning av installationssystem
i Stockholmsprojektet
BFR Rapport 42:1990

ENERGIFLÖDESDIAGRAM

Perioden 1987-0-01--1987-12-31

I denna bilaga redovisas hur den köpta energin tillförs under 1987, omvandlas till vätskeburen energi, transporteras inom byggnaden och slutligen bortförs. Beskrivningen av energiflödena redovisas för hela året och för olika årstider i form av "sankeydiagram". Det innebär bla att pilarnas bredd i diagrammen är proportionella mot energiflödena.

Glasgården, kontoren och bostäderna representeras av olika block i diagrammet. I varje block anges periodens medeltemperatur. Förutom medeltemperaturer och energibalanser för de dessa block, redovisas flöden mellan kontoren och bostäderna samt över värmepumpen och elpannan.

Detta sätt att redovisa energiflöden ger en bild av hur energiflödena förhåller sig till varandra under olika driftförhållanden.

Då inte alla energiflöden på bortförselsidan är uppmätta har balansen uppnåtts genom att för varje block beräkna en restpost. Denna restpost utgörs av:

Rest. = Uppmätt tillförd energi - uppmätt bortförd energi

De värden som anges i diagrammen har enheten MWh. De index som visas i diagrammen förklaras i tabellen på följande sida. Ytterligare förklaringar återfinns i avsnitt 4, "Energianvändning", sid 23.

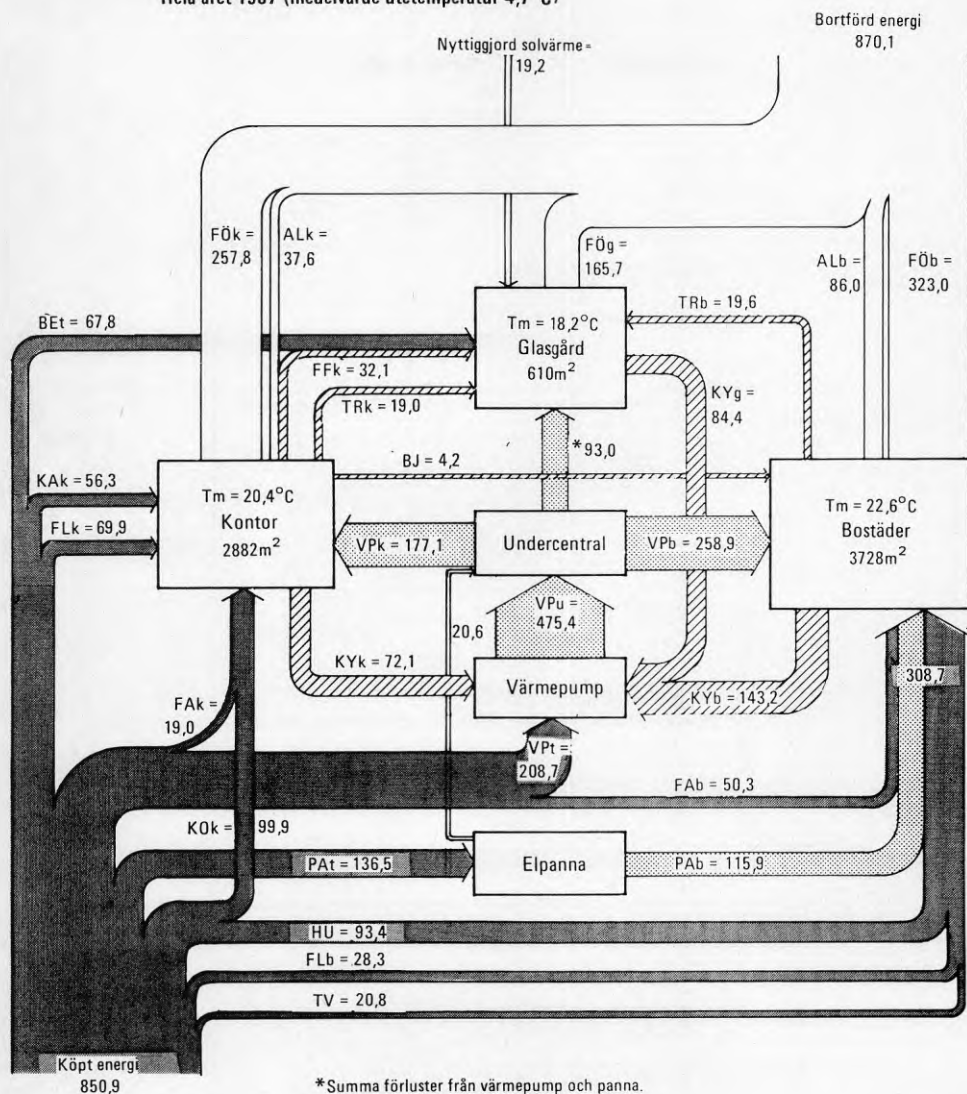
Följande perioder redovisas:

Hela året	1987-01-01--1987-12-31
Uppvärmningsperioden	1987-09-01--1987-12-31 samt 1987-01-01--1987-05-31
Våren	1987-03-01--1987-05-31
Sommaren	1987-06-01--1987-08-31
Hösten	1987-09-01--1987-11-30
Vinter	1987-12-01--1987-12-31 samt 1987-01-01--1987-02-28

Förklaringar till index som anges i diagrammen på följande sidor

BE _t	Belysning i gård
BJ	Värme via hålbjälklag från kontoren till bostäderna
FA _b	Fastighetsel till bostäderna
FA _k	Fastighetsel till kontoren
FF _k	Värme från kontoren till gården via från/cirk.luft
FL _b	Fläktel till bostäderna
FL _k	Fläktel till kontoren
HU _b	Hushållsel till bostäderna
KA _k	Kallraskydd i kontoren
KO _k	El till belysning och apparater i kontoren
KY _k	Kylning av kontoren från- och tilluft via VP
KY _b	Kylning av bostädernas frånluft via värmepumpen
KY _g	Kylning av gården
PA _t	El till pannan
PA _b	Värme från pannan till bostäderna
PA _k	Värme från pannan till kontoren
PA _u	Värme från elpannan
TR _b	Transmissionsvärme från bostäderna till gården
TR _k	Transmissionsvärme från kontoren till gården
TV _b	El till tvättstugan
VP _b	Värme från värmepumpen till bostäderna
VP _k	Värme från värmepumpen till kontoren
VP _t	El till värmepumpen
VP _u	Värme från värmepumpen

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)
Hela året 1987 (medelvärde utetemperatur 4,7°C)

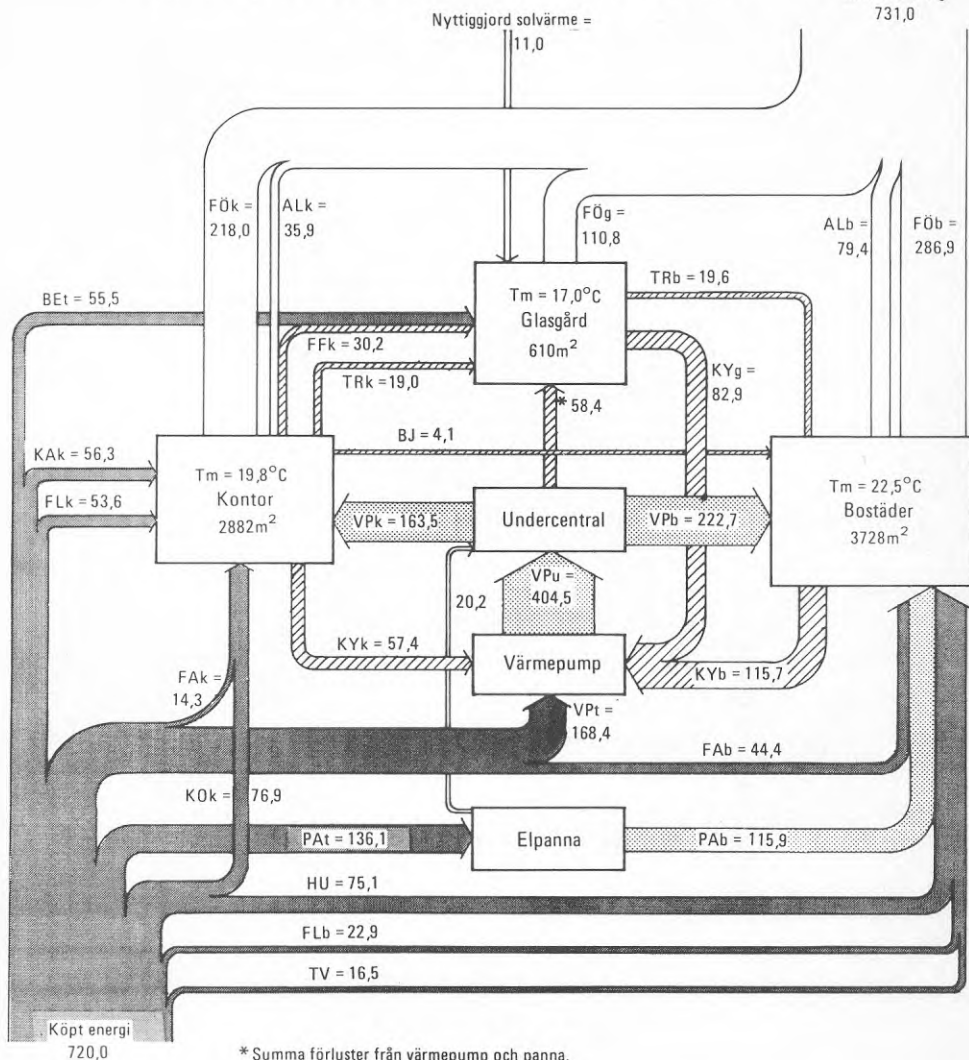


*Summa förluster från värmepump och panna.
 Tm = medeltemperatur för perioden.

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)

Uppvärmningsperioden sept - maj (medelvärde utetemperatur 1,5°C) 1987

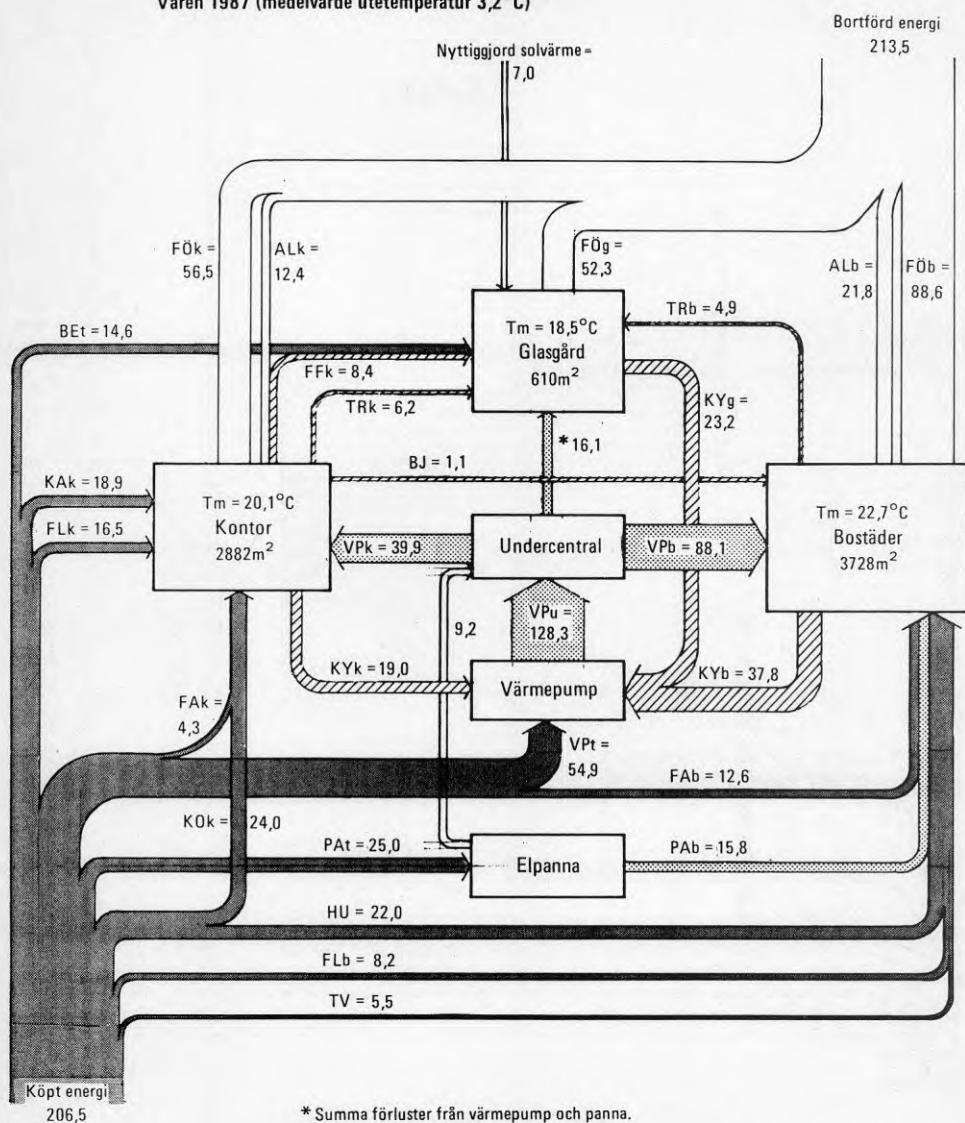
Bortförd energi
731,0



* Summa förluster från värmepump och panna.
T_m = medeltemperatur för perioden.

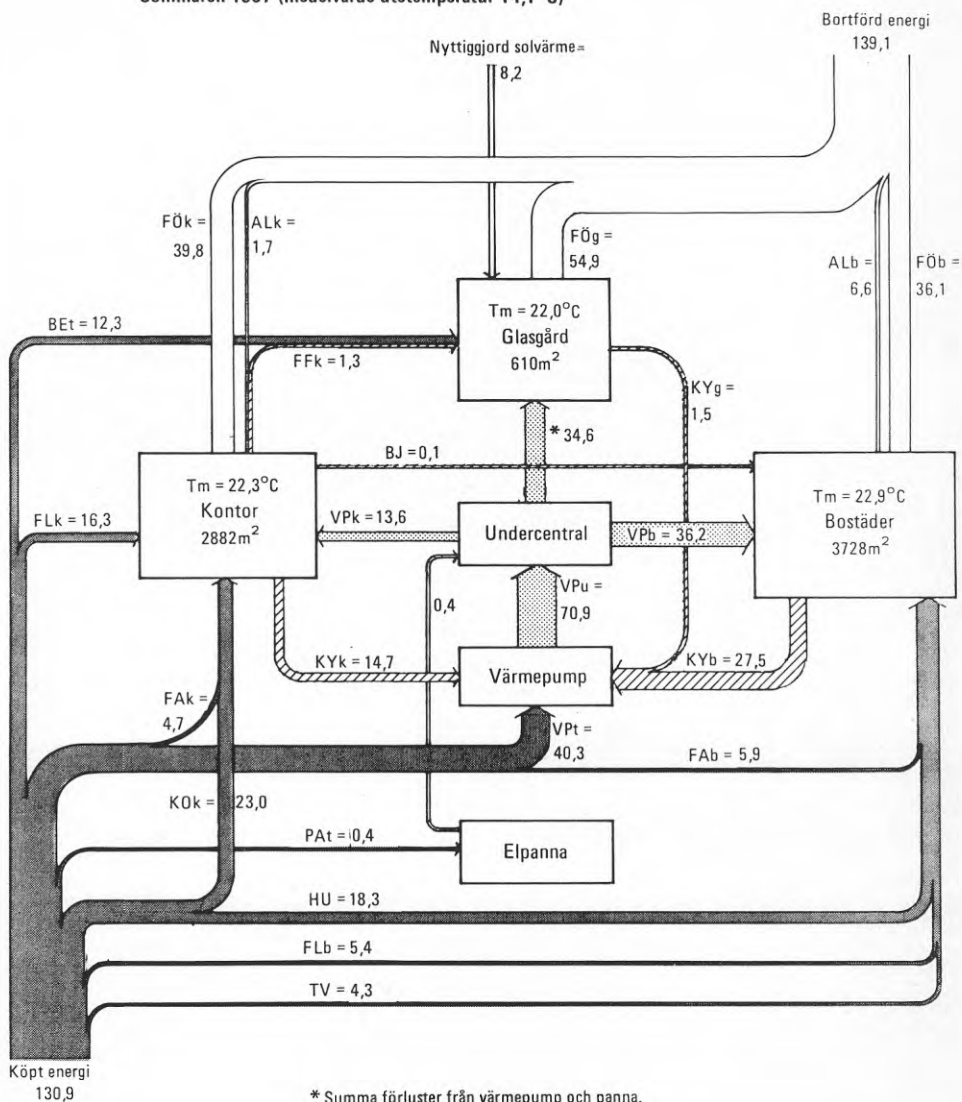
- Tillförd energi
- Tillförd vätskeburen energi
- Värmetransport inom byggnaden
- Bortförd energi

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)
Våren 1987 (medelvärde utetemperatur 3,2°C)



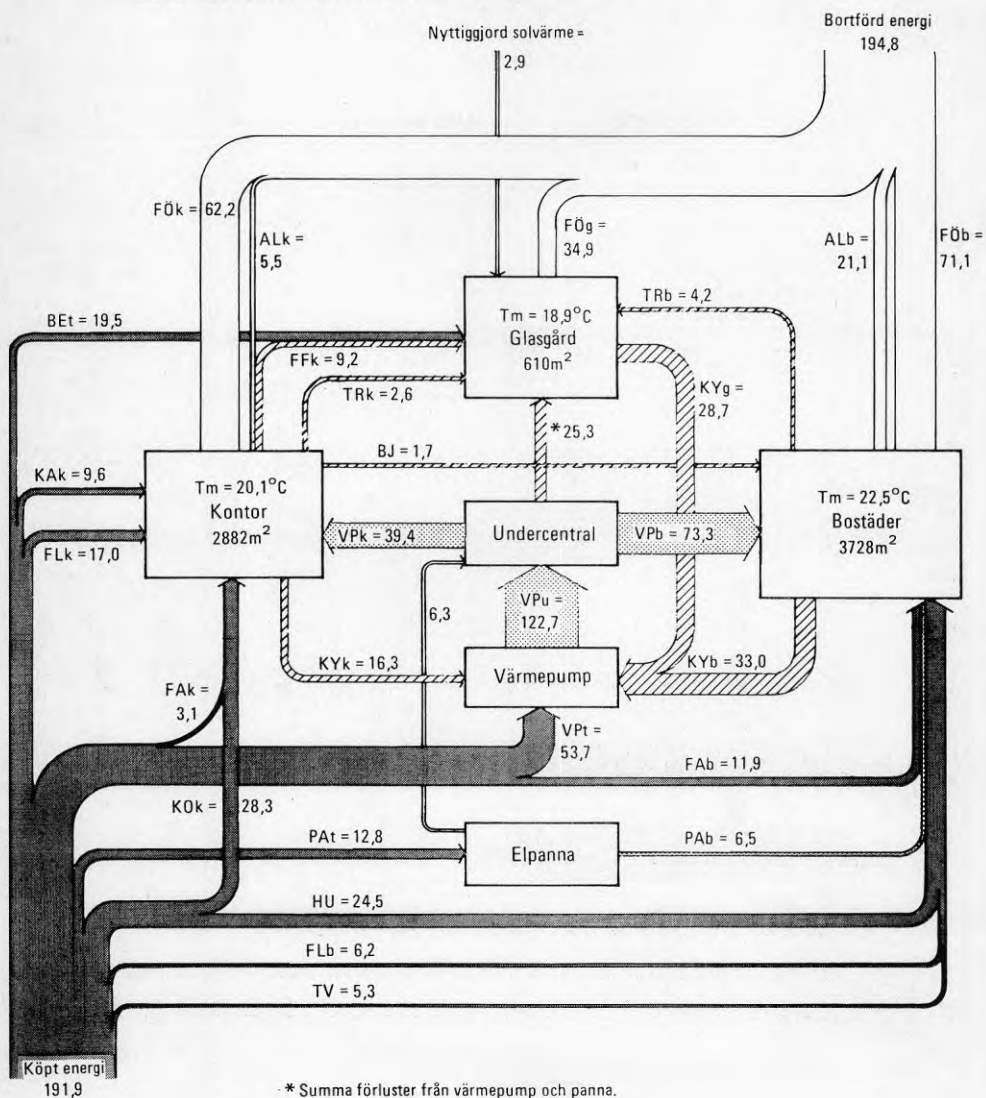
* Summa förluster från värmepump och panna.
 Tm = medeltemperatur för perioden.

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)
Sommaren 1987 (medelvärde utetemperatur 14,1°C)







- Tillförd energi
- Tillförd vätskeburen energi
- Värmetransport inom byggnaden
- Bortförd energi

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)
Hösten 1987 (medelvärde utetemperatur 6,9°C)

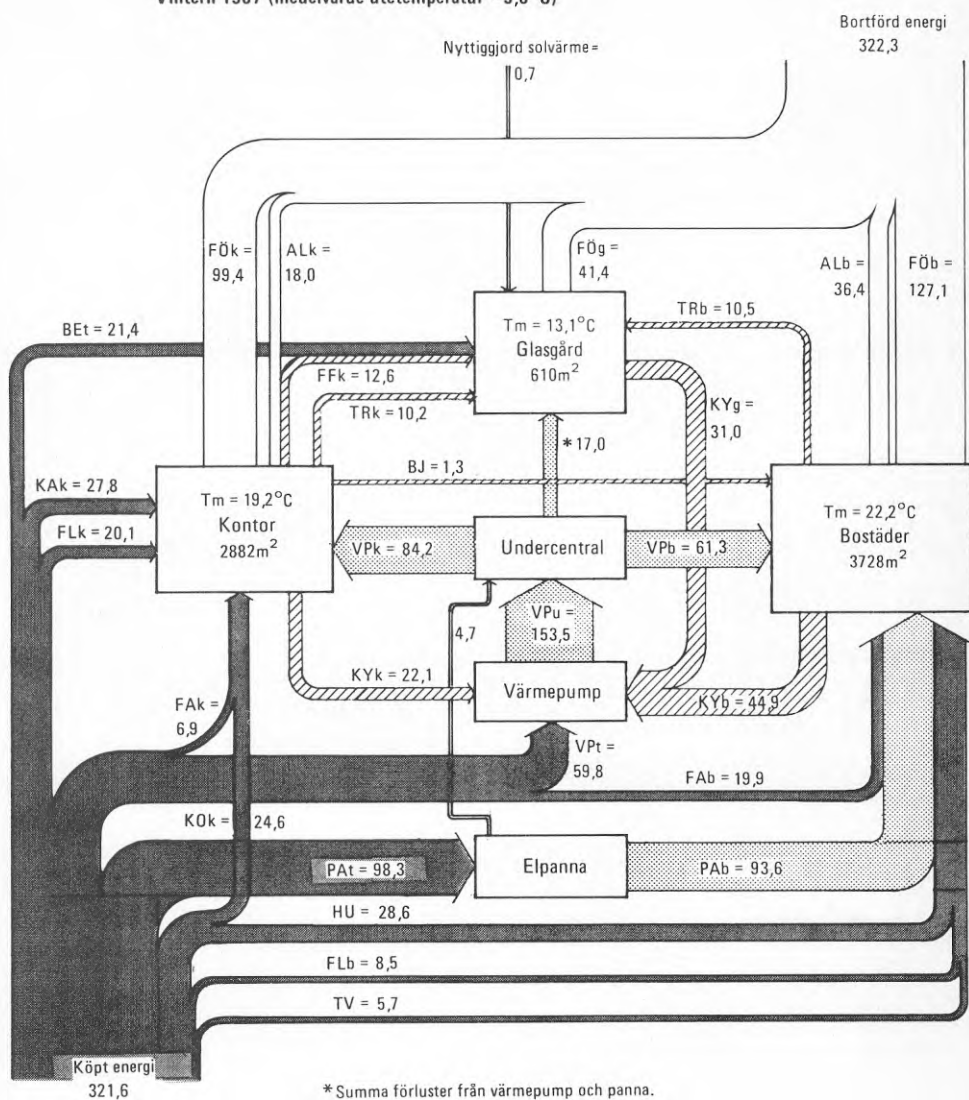


* Summa förluster från värmepump och panna.

Tm = medeltemperatur för perioden.

-  Tillförd energi
-  Tillförd vätskeburen energi
-  Värmetransport inom byggnaden
-  Bortförd energi

ENERGIBALANS kv. BODBETJÄNTEN (MWh)
Vintern 1987 (medelvärde utetemperatur $-5,6^{\circ}\text{C}$)



* Summa förluster från värmepump och panna.
Tm = medeltemperatur för perioden.

PROTOKOLL FRÅN SPÅRGASMÄTNING I BODBETJÄNTEN

SYFTE

Syftet med mätningen var att försöka bestämma andelen återluft i kontorets tilluft, samt att mäta den ofrivilliga luftomsättningen i glasgården, se bifogade program.

GENOMFÖRANDE

Mätningarna genomfördes enligt programmet, 88-03-24. Två gasanalysatorer, Binos och URAS, användes för att mäta spårgaskoncentrationer i kontorets till- resp. frånluftskanaler. Dessa var samkalibrerade före mätningens början.

Spårgas (N_2O) tillfördes kontinuerligt i kontorets frånluft från en gasflaska via en tryckreduceringsventil och lång slang och koncentrationen mättes före don till bostadsglasgården. Spårgasflödet kontrollerades genom att gasflaskan placerades på en våg.

Lustgaskoncentrationen i kontorets tilluft mättes med Binos-analysatorn dels vid intågsgaller för återluften och dels precis före värmebatteriet. Emellan dessa två punkter finns friskluftsintaget, vars spjäll oftast är stängt.

Väderleken vid genomförandet, 88-03-24, var mulet med låga vindhastigheter.

RESULTAT

A. Återluftsandel till kontor

Mätningarna utfördes med cirkulationsfläktarna genom kontorsglasgården och undercentralen på- och avslagna med följande resultat:

Försök	k1	N O-koncentrationer i ppm		Återluft %
		Tilluft	Frånluft, korr.värde	

Cirkulation av:

Vid återlufts-galler	12 ⁰⁰	215	288	75
----------------------	------------------	-----	-----	----

Vid värme-batteri	11 ²⁸	160	246	65
-------------------	------------------	-----	-----	----

Cirkulation på:

Vid återlufts-galler	13 ²⁸	280	355	79
----------------------	------------------	-----	-----	----

Resultaten visar att ingen större luftmängd kommer in genom tilluftspjället.

Återluftsandelen skiljer ej heller mellan cirkulationen på- och avslagen. Det kan tyckas att återluftsandelen borde bli mindre när cirkulationen genom kontorsglasgården och undercentralen är tillslagen, men mätningarna visar snarare på ett omvänt resultat, vilket ev. kan förklaras med förändrade strömningsbilder och tryckförhållanden.

Spårgasflödena var följande:

K1	Gasflaskans vikt kg	Minskning kg/min	Spårgasflöde m ³ /h
10 ¹⁶	26.55		
		0.044	1.41
10 ²²	26.2		
		0.029	0.93
10 ²⁵	26.0		
		0.070	2.25
10 ³⁵	25.3		
		0.063	2.02
11 ⁰⁵	23.4		
		0.053	1.70
11 ¹⁸	22.6		
		0.061	1.96
11 ³⁶	21.5		
		0.071	2.28
11 ⁴⁵	20.9		
		0.059	1.89
12 ⁰⁷	19.6		

Spårgasflödets variationer har i detta fall mindre betydelse eftersom differensen av spårgaskoncentrationerna tagits vid samma tidpunkt. Ett läckage på en spårgasslang upptäcktes kl 11¹⁰, varför inga koncentrationsvärden före denna tidpunkt redovisats.

B. Ofrivillig luftomsättning i bostadsglasgården

En avklingningsmätning med lustgas utfördes direkt efter ovan redovisade mätningar. Endast en mätpunkt, ca en meter över golv och ungefär mitt emellan tilluftsdonen, användes. Omblandningen bedömdes vara god, trots att inga speciella omblandningsfläktar användes. Detta på grund av de stora luftflödena, ca 20 000 m³/h, och att cirkulationen genom undercentralen var igång.

Resultatet blev 0.42 oms/h vid en dryg halvtimmes mätning.

Detta motsvarar ett tilluftsflöde på ca 2450 m³/h av omärkt luft, antingen direkt utifrån eller via lägenheterna. Detta motsvarar ca 12% av det styrda luftflödet genom glasgården.

PROGRAM FÖR SPÄRGASMÄTNING I BODBETJÄNTEN

FRÅGESTÄLLNING

- A. Hur mycket är återluftsinsblandningen i kontorets tilluft?
B. Hur stor är den ofrivilliga luftomsättningen i glasgården?

MÄTPROGRAM

Kontorets frånluft tillförs vintertid i första hand bostadsgården. Luftflödet, vilket tillförs via två takdon, är ca 16000 m³/h och mäts kontinuerligt. Vid övertemperaturer i undercentralen cirkuleras även luft genom kontorsgården via UC till bostadsgården. Mätningarna utförs för vinterfallet. Omgivande klimatförutsättningar och luftflödesmätningar erhålles från MCE-data.

Kontors- och bostadsgårdarnas volymer är 2985 m³ resp. 5870 m³.

Planerad dag för genomförande är 88-03-24.

MÄTFALL 1: LUFTCIRKULATION GENOM UC AVSTÄNGD

A. Återluftsandel till kontoren

Spärgas tillförs kontinuerligt med konstant flöde i kontorets frånluftskanal (ej från WC) och koncentrationen mäts efter erforderlig omblandningssträcka. Troligtvis får spärgas även initialt tillföras bostadsgården för att snabbare erhålla jämvikt. Omblandningsfläktar krävs i glasgården. Spärgasåtgång är i storleksordningen 2 m³ per timme. En 10 l-flaska räcker då ca 2 timmar.

Koncentrationen mäts i kontorets tilluftkanal precis före värmebatteriet. Koncentrationsskillnaden är proportionell mot andelen återluft. Om möjligt mäts även koncentrationen vid återluftsintaget för att se hur mycket uteluft som tillförs via uteluftspjället. Pjället är ofta stängt vintertid, eftersom man antar att tillräcklig friskluftsinsblandning sker i glasgården.

In- och utpassage genom glasgården samt lägenhetsdörrar måste kontrolleras och i största möjliga mån undvikas.

B. Ofrivillig luftomsättning i glasgården

Tillförsel av spårgas och förutsättningar som i A. Koncentrationen mäts dock efter spjäll så nära glasgården som möjligt.

Koncentrationen mäts på flera punkter i intagsspjället och medelvärde bildas.

Skillnaden i koncentration är proportionell mot ofrivillig luftomsättning i glasgården.

Mätfall 2: Luftcirkulation genom UC påslagen

Mätningarna upprepas på samma sätt. Det kan dock bli svårt att erhålla bra resultat, eftersom cirkulationsluften går från fläktrummet via kontorsgården, undercentralen och bostadsgården. Jämvikt i nämnda utrymmen måste inväntas. Omblandningsfläktar krävs dessutom i kontorsgården.

Om tiden medger (i prioriteringsordning):

- Spårgasmätning med avklingning i bostadsgården.
- Spårgasmätning med avklingning i kontorsgården.
- Läcksökningar mellan glasgårdar och kontor resp. bostäder.

UTRUSTNING

-Kont. spårgasutrustning (ByTe) kan ev används för kontinuerlig spårgastillförsel. I nuvarande form räcker troligtvis inte denna till att åstadkomma en högre koncentration än 4 ppm vid 16000 m³/h, vilket är för lågt. För att åstadkomma 100 ppm vid ett flöde på 16000 m³/h åtgår ca 0.44 l/s spårgas. BINOS-analysatorn i systemet kan användas för koncentrationsmätningar av lustgas.

- URAS-analysator med skrivare (ByTe).
- Injektionssystem, ev ventilomkopplare.
- Borrmaskin, pluggar, tejp och slangar.
- Omblandningsfläktar.
- Ytterligare/bättre utrustning tillgänglig?

Om flera analysatorer måste användas ska samkalibrering ske.

R24:1992

ISBN 91-540-5464-8

Byggforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6812024

Abonnemangsgrupp:
W. Installationer

Distribution:
Svensk Byggtjänst
171 88 Solna

Cirkapris: 70 kr exkl moms